

Titre: Étude exploratoire de l'optimisation combinée des routes et du chargement des camions chez Le Groupe Distribution Toiture Mauricienne
Title:

Auteur: Catherine Caron
Author:

Date: 2014

Type: Mémoire ou thèse / Dissertation or Thesis

Référence: Caron, C. (2014). Étude exploratoire de l'optimisation combinée des routes et du chargement des camions chez Le Groupe Distribution Toiture Mauricienne
Citation: [Mémoire de maîtrise, École Polytechnique de Montréal]. PolyPublie.
<https://publications.polymtl.ca/1553/>

 **Document en libre accès dans PolyPublie**
Open Access document in PolyPublie

URL de PolyPublie:
PolyPublie URL: <https://publications.polymtl.ca/1553/>

Directeurs de recherche: Jean-Marc Frayret
Advisors:

Programme: Génie industriel
Program:

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

ÉTUDE EXPLORATOIRE DE L'OPTIMISATION COMBINÉE DES ROUTES
ET DU CHARGEMENT DES CAMIONS CHEZ LE GROUPE DISTRIBUTION
TOITURE MAURICIENNE

CATHERINE CARON

DÉPARTEMENT DE MATHÉMATIQUES ET DE GÉNIE INDUSTRIEL

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

MÉMOIRE PRÉSENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION
DU DIPLÔME DE MAÎTRISE ÈS SCIENCES APPLIQUÉES
(GÉNIE INDUSTRIEL)

AVRIL 2014

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

Ce mémoire intitulé :

ÉTUDE EXPLORATOIRE DE L'OPTIMISATION COMBINÉE DES ROUTES ET DU
CHARGEMENT DES CAMIONS CHEZ LE GROUPE DISTRIBUTION TOITURE
MAURICIENNE

présenté par : CARON Catherine

en vue de l'obtention du diplôme de : Maitrise ès sciences appliquées

a été dûment accepté par le jury d'examen constitué de :

M. GAMACHE Michel, Ph.D., président

M. FRAYRET Jean-Marc, Ph.D., membre et directeur de recherche

Mme RIOPEL Diane, Doct., membre

REMERCIEMENTS

Ce travail de longue haleine a pu se rendre à terme grâce au soutien de plusieurs ressources dont j'aimerais prendre le temps de remercier.

Tout d'abord, un merci principal à mon directeur de projet, M. Jean-Marc Frayret pour s'être aventuré avec moi dans ce projet très complexe. Merci de votre soutien et votre confiance vis-à-vis tous les revers dont nous avons dû affronter.

Ensuite, je voudrais remercier Nancy Lebel, directrice logistique chez Groupe Distribution Toiture Mauricienne. Merci de ta bonne humeur, de ton temps et de ta patience. Merci pour ta compréhension du projet qui a rendu la communication si facile et efficace.

Un remerciement envers la direction de Toiture Mauricienne à l'époque de l'élaboration du projet qui nous a fait confiance. M. André Lemyre qui m'a permis d'avoir accès à toutes les ressources nécessaires et M. Yves Barette qui nous a permis de continuer suite à l'acquisition de la compagnie.

La réalisation d'un tel projet ne se fait pas sans ressources financières. Merci à Jean-Marc Frayret, André Lemyre et à l'organisme MITACS de s'être impliqués au niveau des bourses, tant qu'à l'organisation et qu'à la prestation.

Un autre remerciement pour Julie Vallée, répartitrice chez Chevron Lavallois, pour les nombreux documents demandés aux fins d'analyses mais surtout, pour toutes les réponses entourant les informations processuelles de bureau.

Un merci également pour M. Christian Gendron pour les visites et les explications sur le terrain, que ce soit en chantier, à la manutention, à l'entreposage ou à la production. Merci de m'avoir permis de participer aux nombreuses activités de l'entreprise.

Un remerciement aussi pour Julie Vallée et Stéphane Mc Mullen pour m'avoir formée à la répartition en plus de passer plusieurs heures en ma compagnie et mes nombreuses questions.

Un dernier remerciement à mon conjoint François Bougie pour avoir été présent et pour me soutenir dans tous mes projets.

RÉSUMÉ

Cette présente étude fait l'analyse d'un problème de transport qui se heurte à une réalité unique et bien complexe non résolue à ce jour par aucune solution dans la littérature. Il s'agit du problème d'optimisation de la définition des routes et du chargement des camions chez Groupe Distribution Toiture Mauricienne. Cette entreprise œuvre dans la production de charpentes de maisons à travers le Québec.

Ce problème de transport devra être imbriqué à celui de l'allocation des bons de fabrication en usines pour obtenir des résultats profitables, requis par son caractère unique. Afin d'explorer l'intégration d'un outil d'aide à la planification comme solution avantageuse pour supporter le problème de transport ici étudié, une analyse des processus actuels de planification et de ses contraintes sera détaillée afin d'explorer rigoureusement cette nouvelle problématique de transport et sa réalité.

Puis, une analyse des besoins en information déterminera une nouvelle fenêtre de temps pour la planification. Suite à une fastidieuse collecte de données, ces dernières ont été entre autres analysées au niveau des chargements des remorques. L'analyse historique des chargements effectués pointe de premières limites qui permettent de définir les contraintes de capacité des remorques.

Finalement, un nouveau processus de planification sera modélisé et comparé au processus actuel. Ensuite, une réingénierie des processus de gestion des informations est proposée pour répondre aux besoins de ce nouveau processus de planification. Enfin, une stratégie de développement d'un outil d'aide à la planification est avancée et propose l'interaction entre le raisonnement logique humain et la puissance des algorithmes de résolution. Cette stratégie d'amélioration propose également un processus d'apprentissage à cette interaction humain-ordinateur.

ABSTRACT

This study makes the analysis of a transport problem which collides to a unique and complex reality which hasn't been resolved by any literature's solutions as per today. It is an optimisation problem of road definition and loading of trailers for Groupe Distribution Toiture Mauricienne. GDTM works in production of house frame all around the province of Quebec.

This transport problem has to be imbricated to the allocation jobs problem to obtain profitable results because of its unique character. To explore the integration of a planning support tool as an attractive solution to support this transport problem, an analysis of actual planning process and its constraints has been detailed to explore rigorously this new problem transport and its reality.

Then, an analysis of information needs will determinate a new planning time window. After a tedious data collect, those data has been, inter alia, analysed concerning loading of trailers. The historical analysis of loading shows first limits to the trailers' capacity.

Finally, a new planning process is modeled and compared to the actual process. Then, a process reengineering of information management is proposed to meet needs of this new planning process. At last, a development strategy for a planning support tool is advanced and proposes the integration of human reasoning to the power of resolution algorithms. This improvement strategy also proposes a learning process to this integration of human and computer.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS	III
RÉSUMÉ.....	IV
ABSTRACT	V
TABLE DES MATIÈRES	VI
LISTE DES TABLEAUX.....	IX
LISTE DES FIGURES.....	X
LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS	XII
LISTE DES ANNEXES.....	XIII
INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE 1 REVUE DE LA LITTÉRATURE.....	4
1.1 Gestion de la capacité.....	4
1.2 Construction de tournées de véhicules	5
1.3 Remplissage de remorque	8
1.4 Synthèse de la littérature	9
CHAPITRE 2 OBJECTIF DE RECHERCHE ET MÉTHODOLOGIE DE TRAVAIL.....	10
2.1 Objectif de recherche	11
2.2 Méthodologie de travail	11
2.2.1 Modélisation et analyse du processus de décision actuel.....	12
2.2.2 Analyse des informations utilisées et requises.....	13
2.2.3 Identification d’opportunités d’amélioration	14
2.2.4 Développement d’une stratégie de planification conjointe	14
2.2.5 Analyse des barrières à la mise en œuvre de la stratégie proposée.....	14
CHAPITRE 3 MODÉLISATION DU PROCESSUS DE DÉCISION	15

3.1	Analyse du problème de transport et ses contraintes	15
3.1.1	Contraintes du problème de transport	15
3.1.2	Contraintes du problème de gestion de la capacité des usines	19
3.1.3	Tableau synthèse des contraintes	19
3.2	Modélisation et analyse du processus de planification de la production	20
3.2.1	Processus de prise d'une commande jusqu'à sa livraison au client	21
3.2.2	Processus de répartition et de livraison	24
3.3	Synthèse de l'analyse des processus actuels de planification	27
CHAPITRE 4 ANALYSE DES BESOINS EN INFORMATION.....		29
4.1	Fenêtre de temps pour la planification	29
4.2	Analyse des informations utilisées pour la répartition	31
4.2.1	Collecte des données	32
4.2.2	Véhicules et équipements.....	33
4.2.3	Chargements autorisés.....	36
4.2.4	Capacité de production.....	37
4.3	Analyse des données SAP	38
4.4	Analyse statistique des données	39
4.4.1	Analyse des chargements par types de remorques	39
4.4.2	Matrice origines destinations	48
4.4.3	Analyse des temps de déchargement.....	49
4.5	Synthèse de l'analyse des informations	51
CHAPITRE 5 OPPORTUNITÉS D'AMÉLIORATION ET STRATÉGIE DE SOLUTION .		53
5.1	Nouveau processus de planification.....	53
5.2	Réingénierie du processus de gestion des informations.....	56

5.3	Stratégie de développement d'un outil d'aide à la planification	59
5.3.1	Principe d'interaction homme-ordinateur	59
5.3.2	Approche d'apprentissage	62
5.4	Barrières à la mise en œuvre	64
5.4.1	Barrières de nature informationnelle	64
CONCLUSION		67
BIBLIOGRAPHIE		68
ANNEXES		70

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.1 : Spécificités, similarités et différences avec les variantes du problème de tournées de véhicules standard	6
Tableau 3.1 : Tableau synthèse des contraintes	19
Tableau 3.2 : Synthèse des limites et opportunités du processus actuel.....	28
Tableau 4.1 : Principales caractéristiques des véhicules et équipements de Toiture Mauricienne	34
Tableau 4.2 : Principales caractéristiques des véhicules et équipements de Chevron Lavallois..	34
Tableau 4.3 : Principales caractéristiques des véhicules et équipements de Prokit	35
Tableau 4.4 : Principales caractéristiques des véhicules et équipements de Moisan	35
Tableau 4.5 : Dimensions maximales autorisées pour les permis de classe 1	36
Tableau 4.6 : Comparaison des informations entourant les quantités de produits chargés par voyage par type de remorque	41
Tableau 4.7 : Comparaison des informations entourant les volumes des chargements réalisés par voyage par type de remorque	44
Tableau 4.8 : Comparaison des coefficients de corrélation entre les variables de quantité de produits et de volume de PMP par type de remorque	47
Tableau 4.9 : Comparaison du volume de PMP par type de produit par voyage pour une remorque de 48 pieds	48
Tableau 5.1 : Synthèse des informations à collecter pour la mise en œuvre du nouveau processus de planification	58

LISTE DES FIGURES

Figure 3.1 : Processus synthétisé de la prise d'une commande jusqu'à sa livraison chez le client	22
Figure 3.2 : Nombre de livraison moyenne par période de livraison par jour	27
Figure 4.1 : Horizon gelé de planification.....	30
Figure 4.2 : Quantité de produits par voyage pour une remorque de 27 pieds	40
Figure 4.3 : Quantité de produits par voyage pour une remorque de 32 pieds	40
Figure 4.4 : Quantité de produits par voyage pour une remorque de 34 pieds	40
Figure 4.5 : Quantité de produits par voyage pour une remorque de 48 pieds	41
Figure 4.6 : Volumes totaux (PMP) par voyage pour une remorque de 27 pieds.....	42
Figure 4.7 : Volumes totaux (PMP) par voyage pour une remorque de 32 pieds	43
Figure 4.8 : Volumes totaux (PMP) par voyage pour une remorque de 34 pieds	43
Figure 4.9 : Volumes totaux (PMP) par voyage pour une remorque de 48 pieds	44
Figure 4.10 : Dispersion volumes totaux (PMP) et quantité de produits représentant les chargements d'une remorque de 27 pieds.....	45
Figure 4.11 : Dispersion volumes totaux (PMP) et quantité de produits représentant les chargements d'une remorque de 32 pieds.....	45
Figure 4.12 : Dispersion volumes totaux (PMP) et quantité de produits représentant les chargements d'une remorque de 34 pieds.....	46
Figure 4.13 : Dispersion volumes totaux (PMP) et quantité de produits représentant les chargements d'une remorque de 48 pieds.....	46
Figure 4.14 : Volumes totaux (PMP) par voyage et par type de produit pour une remorque de 48 pieds	47
Figure 5.1 : Nouveau processus de planification	55
Figure 5.2 : Processus d'interaction entre le système informatisé et l'utilisateur humain.....	60

Figure 5.3 : Processus d'apprentissage à l'interaction entre le système informatisé et l'utilisateur humain	63
---	----

LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS

ALNS	Adaptative Large Neighborhood Search
DMAIC	Définir, mesurer, analyser, innover, contrôler
ERP	Enterprise resource planning
GDTM	Groupe Distribution Toiture Mauricienne
MDVRP	Multi-Depot Vehicle Routing Problem
MKP	Multidimensional Knapsack Problem
OD	Origines destinations (matrice OD)
PMP	Pied-Mesure-Planche
VRP	Vehicle Routing Problem
VRP-CPRV	Capacitated Problem Routing Vehicle
VRPB	Vehicle Routing Problem with Backhauls
VRPTW	Vehicle Routing Problem with Time Windows

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE A : TABLEAU DES OFFRES DE PRODUITS PAR USINE	70
ANNEXE B : PROCESSUS DE PRISE D'UNE COMMANDE JUSQU'À SA LIVRAISON CHEZ LE CLIENT	71
ANNEXE C : PROCESSUS DE CONFECTION DES ROUTES DE LIVRAISONS	72

INTRODUCTION

Groupe Distribution Toiture Mauricienne (GDTM) est une entreprise de fabrication de fermes de toit et de solives de plancher en constante évolution. À ce jour, il dénombre quatre dénominations sociales qui possèdent chacune une usine de production et un entrepôt extérieur. La plus importante est Toiture Mauricienne, située à Ste-Marthe-du-Cap et qui constitue également le siège social. Chevron Lavallois, à Laval, est la deuxième usine d'importance de l'entreprise. Prokit et Moisan, situées respectivement à Iberville et à St-Augustin-de-Desmaures, viennent compléter le groupe¹. Cette grande entreprise livre directement, à partir de ses quatre usines et entrepôts, aux sites de construction de ses clients. Lorsqu'un client appelle pour se faire livrer une charpente, l'ordre de fabrication est généralement alloué à l'usine de production la plus proche du site de livraison, en autant qu'elle ait la capacité de le produire. Certaines usines ne produisent que des fermes de toit, alors que d'autres produisent aussi des solives de planchers. Par contre, des stocks de solives sont maintenus à certaines usines qui n'en fabriquent pas afin de faciliter la livraison aux clients. De plus, le niveau d'automatisation des usines n'est pas le même, ce qui implique des capacités de production différentes en terme de quantité et de sortes de produits.

Une fois les charpentes et solives fabriquées, chaque usine confectionne des routes de livraison journalière de façon indépendante. En effet, chaque usine possède et gère sa propre flotte de camions, de remorques et d'équipements de déchargement, ainsi que ses propres camionneurs. Certaines usines ont des ententes contractuelles ou verbales avec des transporteurs externes, généralement coûteux, mais qu'elles utilisent fréquemment. Les routes de livraison doivent généralement respecter des fenêtres de temps permettant à l'entrepreneur de coordonner les employés de la construction avec la livraison des produits à assembler sur le chantier. De la même manière, la disposition des produits sur les remorques doivent non seulement respecter les normes de chargement et de transport, mais en plus, elles doivent se soumettre à une logique de déchargement en chantier. Il est important que cette logique soit respectée afin de rendre le déchargement plus efficace, ce qui implique une diminution importante des temps de déchargement

¹ Données de 2012

et des coûts. De plus, l'ensemble de ces produits peut être demandé par un même client à différentes dates de livraison, en fonction du calendrier de construction.

En ce qui concerne le transport routier, puisque les produits fabriqués et livrés par GDTM sont généralement de grandes dimensions non standards, les routes de livraison doivent respecter les contraintes d'accès aux sites de construction, de volume et d'ordre de chargement sur les remorques, de grue de déchargement et de remorques requises. En effet, si les solives sont de formes rectangulaires et facilement empilables, les fermes de toit sont de dimensions pouvant aller jusqu'à plus de cent pieds et de formats très différents. Les commandes sont donc personnalisées pour chaque client. Généralement, les tournées de véhicules ont en moyenne 2 à 3 livraisons à effectuer avant de retourner à l'usine initiale. Finalement, en plus des fermes de toit et des solives, GDTM produit et livre certains produits complémentaires sur demande (systèmes de murs complets), qu'il faudra considérer lors d'une modélisation ultérieure.

Actuellement, le processus de décision pour la confection de routes de livraison dans ce contexte complexe s'appuie sur les connaissances tacites des employés de répartition et même parfois sur la visualisation des commandes emballées. Bien que la confection des routes soit réalisée la journée précédente, plusieurs aléas, tels que la météo, viennent influencer les routes prédéfinies, et ce, parfois plusieurs fois au cours de la même journée. Il y a donc un besoin d'un système efficace et automatisé de définition des routes qui compte présentement sur l'expérience des employés en place.

Lors de la réalisation du projet, GDTM repensait sa structure organisationnelle. Suite à un investissement majeur dans l'automatisation des processus de fabrication et de certains processus de gestion (excluant la confection des routes de livraison), l'amélioration de l'efficacité des processus de support tel que le transport était, et reste, une étape nécessaire à l'accroissement de la compétitivité de l'entreprise. Plus particulièrement, dans le cadre de la restructuration organisationnelle de l'entreprise, la réingénierie des processus de gestion du transport et de la capacité de production des usines prend une importance significative qui conditionne la rentabilité de toute l'entreprise. Il est donc important pour cette dernière de bien évaluer les différentes avenues possibles.

La problématique de l'optimisation des routes de livraison doit comprendre l'allocation de plusieurs commandes à plusieurs usines et plusieurs clients. Ces derniers peuvent être dispersés géographiquement à travers la province de Québec. Étant donné la structure multisite de fabrication de l'entreprise, la planification des routes de livraison devrait être combinée à l'allocation des bons de fabrication aux usines. Le but général de ce mémoire est donc de réaliser une étude exploratoire de l'optimisation de la planification combinée des routes de livraison (incluant le chargement des camions) et de la planification de la production des usines chez GDTM. L'objectif final d'une telle approche a pour but d'aider l'entreprise à prendre une décision plus éclairée sur la stratégie de planification des usines et du transport qu'elle veut adopter, en considérant notamment le développement futur d'une nouvelle allocation des ordres de fabrication aux usines en fonction d'hypothèses de routes efficaces.

CHAPITRE 1 REVUE DE LA LITTÉRATURE

La planification combinée des problèmes d'allocation des ordres de fabrication aux usines et de confection des routes de livraison aux clients nous dirige vers trois grands volets de la littérature, à savoir : le problème de gestion de la capacité des usines, le problème de construction de tournées de véhicules et, finalement, le problème de remplissage de remorque. Plusieurs volets y sont abordés de plusieurs manières.

1.1 Gestion de la capacité

La gestion de la capacité dans sa définition la plus générale est la capacité de gérer les infrastructures d'une entreprise qui lui permettent de répondre à la demande, tout en exploitant ses ressources de manière optimale. Sous ce volet générique, on y retrouve le problème d'allocation des bons de fabrication qui s'apparente à une portion de la problématique de l'organisation étudiée, soit l'allocation de plusieurs commandes à plusieurs usines. Cette portion, aussi appelée dans la littérature anglaise *multi-plant order allocation problem*, se retrouve décortiquée à même plusieurs études existantes. Il a déjà été démontré qu'un algorithme pour une telle allocation des bons de fabrication aux usines est nécessaire dans un contexte comme celui de GDTM, afin d'explorer toutes les combinaisons de solutions possibles et envisageables, afin d'être le plus près de l'optimum.

Ce type de problèmes inclut généralement de nombreuses contraintes telles que la situation géographique des usines, leur capacité de production en terme de quantités et de types de produits, leur niveau d'automatisation, les coûts de production et d'entreposage. L'optimisation de ce type de problèmes de décision nécessite ainsi l'utilisation d'algorithmes exacts (solution optimale) ou approximatifs (solution proche de l'optimale), qui proposent automatiquement des plans efficaces dans des délais raisonnables.

Yang et al. (2010) proposent un algorithme génétique afin de résoudre ce type de problème. Parmi leurs hypothèses de départ, cet algorithme considère plusieurs usines offrant des capacités et des coûts de production différents, mais offrant toutes les mêmes produits. Bien que l'algorithme avancé semble répondre à certaines particularités de l'entreprise, les usines appartenant à GDTM n'ont pas le privilège d'offrir la même variété de produits et doivent se soumettre à une offre de produits distincte pour chacune d'elles. Un deuxième article se rapproche davantage de notre

problématique, celui de Cherbaka et Meller (2008), qui aborde la problématique d'allocation de la production à un problème de sac à dos, plus communément appelé *knapsack problem*. Leur modèle mathématique, se limitant à quatre usines, inclut également une notion de production externe qui n'est pas applicable à la réalité de l'entreprise étudiée. Comme GDTM dispose de produits entreposés (produits standards), cette dernière notion doit également être explorée. De Véricourt et al. (2002) approfondissent quant à eux le sujet de l'allocation optimale des bons de fabrication aux usines en tenant compte des produits à fabriquer pour entreposage. Cette dernière notion d'entreposage doit également être considérée lors de la modélisation et du développement des algorithmes de résolution de problème.

La littérature offre donc plusieurs solutions qui s'apparentent au problème étudié ici. Cependant, plusieurs aspects diffèrent de la réalité de GDTM. Parmi les contraintes de cette réalité, il y a la mesure de la capacité des usines qui est difficile à établir (les limites de capacité sont souvent intuitives, car soumises à des réflexions humaines). Ce phénomène est l'une des difficultés auxquelles l'organisation fait face due à sa philosophie de production personnalisée.

1.2 Construction de tournées de véhicules

Le problème de décision étudié peut aussi être perçu comme un problème riche de tournées de véhicules, intitulé *Vehicle routing problem* (VRP) dans la littérature anglaise. Certaines particularités ne peuvent pas être directement réglées par une des nombreuses solutions proposées dans la littérature, comme la section précédente le mentionne dans son problème de gestion de la capacité. Le tableau 1.1 fait ainsi état de ces particularités ainsi que des similarités du problème abordé aux diverses variantes du problème standard de tournées de véhicules.

Premièrement, le problème de décision de l'entreprise s'apparente à un problème de tournées de véhicules avec dépôts multiples (*Multi-Depot Vehicle Routing Problem-MDVRP*). Cependant, les dépôts sont ici des usines de production qui, comme exprimé dans la section 1.1, ont des capacités de production spécifiques et limitées, mais aussi des indices de productivité différents en fonction du niveau d'automatisation de chaque usine. De plus, la gestion de la capacité de production de ces usines doit tenir compte de la nécessité de garder des stocks de produits finis (standards ou non) sur plusieurs périodes et aux différentes usines.

Tableau 1.1 : Spécificités, similarités et différences avec les variantes du problème de tournées de véhicules standard

Spécificités	Variantes du problème de tournées de véhicules	Différences principales
Les clients peuvent être desservis par plusieurs usines.	Tournées de véhicules avec dépôts multiples (<u>Multi-Depot Vehicle Routing Problem-MDVRP</u>)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Les usines (dépôts) ont des capacités de production limitées et spécifiques à certains types de produits. ✓ Même si la production d'une journée est généralement livrée le lendemain, les usines peuvent entreposer des produits finis pendant un certain temps.
Les produits à livrer sont hors-normes, limitant le nombre de produits pouvant prendre place sur les remorques.	Tournées de véhicules avec contraintes de capacité (<u>Capacitated VRP-CPRV</u>)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Il existe plusieurs types de remorques pouvant être utilisées, chacune ayant des capacités de transport différentes. ✓ Les capacités des remorques sont mal connues car elles sont fonction des formes et dimensions des produits à charger (on peut parfois mettre plus de volume d'un certain mélange de produits car leurs formes sont facilement empilables). ✓ Certains sites de construction ont des contraintes d'accessibilité quant aux remorques utilisables. ✓ Les remorques et camions n'ont pas les mêmes équipements de livraison (grue, remorque rouleau, etc.)
Les livraisons doivent respecter des fenêtres de temps afin d'être coordonnées avec les opérations d'installation sur le site de construction.	Tournées de véhicules avec fenêtres de temps (<u>VRP with Time Windows-VRPTW</u>)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Il existe six périodes de livraison, soit entre 7h et 9h, entre 9h et 11h, entre 11h et 13h, entre 13h et 15h, entre 15h et 17h et une journée ouvrable entière.
Les tournées doivent régulièrement inclure des retours en charge pour transporter des produits finis entre les usines	Tournées de véhicules avec retour en charge (<u>VRP with Backhauls-VRPB</u>)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Il existe deux types de retour en charge : les retours réguliers entre usines et les retours occasionnels lorsqu'une ferme de toit n'est pas à la spécification demandée ou brisée lors de la manutention en chantier.

Deuxièmement, puisque le problème de tournées implique la livraison de produits hors-norme, la confection des routes est contrainte par la capacité limitée des remorques de transport, comme pour un problème de tournées de véhicules avec contraintes de capacité (*Capacitated VRP-CPRV*). Cependant, le problème est là aussi complexifié par le fait qu'il est possible de choisir parmi plusieurs types de remorques en fonction des contraintes d'accès aux sites de construction, mais dont les capacités diffèrent d'une remorque à l'autre. De plus, la problématique de chargement des remorques est complexe à modéliser, puisque la plupart des produits finis ont des formes impossibles à assimiler à des cubes, comme il en sera question à la section 4 de cette étude. Par conséquent, le volume utilisé des remorques dépend de l'agencement des produits sur la remorque et de l'ordre requis de déchargement.

De la même manière, comme la livraison des produits doit être coordonnée avec les opérations d'installation sur les sites de construction, ce problème s'apparente intimement au problème de tournées de véhicules avec fenêtres de temps (*VRP with Time Windows-VRPTW*).

Finalement, ce problème inclut également une problématique de retour en charge, afin de transporter des produits finis entre les usines, mais aussi afin de retourner, des sites de construction vers les usines, des produits qui ne répondraient pas aux spécifications demandées par le client ou pour d'autres raisons.

Ainsi, la littérature propose plusieurs approches pour résoudre simultanément plusieurs aspects de ces problèmes types. Par exemple, Dondo et Cerdá (2007) proposent une heuristique de *clustering* jumelée à un algorithme de tournées de véhicules avec fenêtres de temps, afin de résoudre un problème de tournées de véhicules avec flotte hétérogène, dépôts multiples et fenêtres de temps. Cependant, les problématiques de capacité de production des dépôts/usines et de retour en charge ne sont pas abordées. De la même manière, Pisinger et Ropke (2007) proposent une heuristique générique basée sur une stratégie de recherche adaptative avec grand voisinage (*Adaptive Large Neighborhood Search-ALNS*) qui permet de résoudre efficacement plusieurs variantes du problème de tournées de véhicules. Encore, Polacek et al. (2004) abordent le problème de tournées de véhicules multi-dépôts avec fenêtres de temps en utilisant une stratégie de recherche avec voisinage variable (*Variable Neighborhood Search*) développée par Hansen et Mladenovic en 2001. Enfin, Gendreau et al. (1994), Cordeau et al. (2001) et Jinhui et Xiaokui (2010), proposent des solutions à des problèmes similaires en utilisant une stratégie de recherche Tabou. Encore une

fois, ces approches ont besoin d'être adaptées pour résoudre le problème que nous abordons dans ce projet.

1.3 Remplissage de remorque

Tel que mentionné dans les sections précédentes, le problème de remplissage de remorque est sans doute le processus décisionnel le plus difficile auquel la compagnie doit faire face. En effet, le nombre et le caractère personnalisé des produits, ainsi que plusieurs autres contraintes logistiques associées aux remorques, aux réglementations au déchargement, rendent le problème très complexe.

La littérature propose ainsi un bon nombre de solutions concernant les problèmes de remplissage des remorques qui s'apparentent au contexte étudié. Par exemple, Bertsimas & Demir (2002) proposent une programmation dynamique approximative pour résoudre le *Multidimensional Knapsack Problem (MKP)*, qu'ils qualifient eux-mêmes de non compétitive. Par contre, leurs recherches les ont menés à une heuristique de base qui serait un bon point de départ au développement d'une nouvelle approche pour résoudre un MKP, puisqu'ils ont démontré la qualité supérieure de leurs solutions.

Plusieurs autres approches algorithmiques sont avancées, comme Chu & Beasley (1998) avec un algorithme génétique, ou encore Glover & Kochenberger (1996) avec une méthode de recherche Tabou.

Bien que plusieurs approches algorithmiques aient été proposées dans la littérature, la nature du problème vécu chez GDTM requiert un niveau de spécialisation plus poussé. En effet, une commande peut être constituée de plus de 200 produits de types, de formes et de tailles très différentes. Les commandes de fermes de toit sont les plus critiques, puisque l'entreprise fabrique autant des produits s'assimilant à des rectangles pour les toits plus plats, que des triangles pour des toits très hauts et en pente accentuée. Encore ici, un toit haut peut être muni de plusieurs chevrons ou encore d'un seul, selon les spécificités des clients.

De plus, la complexité des dimensions des commandes se combine à la complexité des normes de dépassement des remorques de type plateforme que l'entreprise utilise principalement. Par exemple, il est possible que l'agencement d'une commande implique un dépassement de la remorque d'une certaine longueur dépendamment de la longueur de la remorque, de l'équipement

du camion et des dimensions des produits. Certains agencements peuvent dépasser la remorque des deux côtés alors que d'autres doivent respecter le règlement du dépassement d'un seul côté.

Finalement, comme il a été mentionné en introduction, le chargement d'une remorque doit non seulement se soumettre à une logique de déchargement des commandes en fonction de la route de livraison, mais elle doit aussi se soumettre à une logique de déchargement d'une commande rendue en chantier, afin que les employés de la construction organisent la disposition de leurs ressources humaines et matérielles. Ce dernier point apporte une contrainte de capacité en terme de commandes pré-ordonnancées et pré-emballées très complexes.

Par conséquent, puisque la problématique de chargement des remorques ne peut être dissociée de la problématique de construction des routes de livraison, le développement d'une approche de planification des opérations logistiques chez GDTM devra inclure un ensemble de caractéristiques spécifiques pour tenir compte de ces contraintes particulières.

1.4 Synthèse de la littérature

Le problème de décision abordé fait référence à trois problèmes de décision, pouvant individuellement être difficiles à résoudre de façon optimale, soit le problème de gestion de la capacité des usines, le problème de construction de tournées de véhicules et, finalement, le problème de remplissage de remorque. La littérature ne propose pas à notre connaissance de solution directe au problème vécu chez GDTM. Seuls certains aspects combinés de ce dernier sont étudiés dans la littérature. Par exemple, Feillet et al. (2008) et Desaulniers (2010) abordent de manière intégrée les problèmes de tournées de véhicules et de remplissage des remorques à l'aide d'un algorithme de génération de colonnes. Cependant, le problème de remplissage des remorques abordé ici est loin d'être aussi complexe que celui de GDTM.

Bien que beaucoup d'études aient été menées, il reste ainsi des aspects de ces problèmes qui ne sont pas suffisamment développés, comme par exemple le remplissage des remorques, pour pouvoir résoudre de façon complète et optimale le problème étudié ici. De la même manière, certaines des approches les plus complètes proposées dans la littérature combinent certains de ces sous-problèmes de manière systématique, mais ne sont pas applicables à la réalité complexe du problème de GDTM. Cette dernière est détaillée dans les prochains chapitres. Le chapitre suivant présente l'objectif de recherche et la méthodologie de travail appliquée pour mener cette étude.

CHAPITRE 2 OBJECTIF DE RECHERCHE ET MÉTHODOLOGIE DE TRAVAIL

La structure organisationnelle envisagée par l'entreprise propose de distribuer entièrement les processus de vente, de fabrication et de distribution des produits aux usines par région exclusive. En d'autres termes, chaque usine aurait l'entière responsabilité de la gestion du transport et de sa capacité de production (gestion tactique et opérationnelle de la production). Par rapport à l'approche actuelle, cette approche revient à une allocation des ordres de fabrication aux usines basée uniquement sur l'appartenance du site de livraison à une région définie a priori, sans tenir compte de la capacité des usines qui auraient à gérer elles-mêmes leur plan de production. Le processus actuel d'allocation des ordres de fabrication aux usines est basé sur la notion de proximité géographique (heuristique simple de distance la plus courte) entre les sites de livraison et les usines disponibles et capables d'offrir les produits et ainsi répondre à la demande. Le processus envisagé par l'entreprise repose quant à lui sur la notion d'appartenance à des régions exclusives et prédéfinies.

Ces deux processus de planification sont ainsi hiérarchiques puisqu'ils proposent de faire l'allocation aux usines d'abord, puis de définir les routes de livraison ensuite. Ce faisant, ils limitent la possibilité d'établir des routes de livraison efficaces, puisqu'ils excluent tous les deux la possibilité de partager la flotte de transport entre usines et de concevoir ainsi des routes maximisant l'efficacité du transport, par exemple en faisant des retours en charge, ou en ayant plusieurs points de collecte sur une même route de livraison. En effet, puisque les routes sont réalisées indépendamment pour chaque usine, une fois réalisée, l'allocation des ordres de fabrication aux usines, la performance des routes est contrainte par la qualité de l'heuristique d'allocation de la production, qui contraint directement la liste des livraisons à faire. De plus, la confection des routes chez GDTM est une tâche quotidienne qui nécessite une très bonne connaissance de l'ensemble des contraintes de gestion, allant du choix du type de remorque, au chargement des fermes de toit et des solives sur les remorques, aux contraintes de transport de produits hors-normes sur les voies publiques, à l'accès aux sites de construction et aux contraintes de déchargement. Ce problème de tournées de véhicules devient alors très riche, d'où la nécessité de la réalisation d'une pré-étude à la réingénierie des processus de planification de GDTM.

2.1 Objectif de recherche

Étant donné la complexité du processus de décision, et notamment l'imbrication de l'allocation des commandes aux usines et de la définition des routes de transport des produits aux clients chez GDTM, et l'absence de solution spécifique dans la littérature pour ce type de problème, l'objectif de ce travail de recherche est d'explorer la problématique de développement d'un outil d'aide à la décision dédié à ce problème. Afin d'atteindre cet objectif général, ce travail propose les sous-objectifs méthodologiques suivants :

- ✓ *Analyse des différents processus de décision;*
- ✓ *Analyse des informations utilisées et requises pour une optimisation conjointe des problèmes d'allocation des commandes aux usines et de transport des produits aux clients;*
- ✓ *Identification d'opportunités d'amélioration;*
- ✓ *Proposition d'avenues de solution d'optimisation conjointe des problèmes;*
- ✓ *Analyse des barrières à la mise en œuvre de ces avenues de solution.*

D'un point de vue pratique, la finalité de ce travail est donc double. Premièrement, ce travail a pour but de faire des recommandations à GDTM quant à la réingénierie de son processus de planification opérationnelle. Deuxièmement, ce travail a pour but de décrire en détails une problématique complexe de planification intégrée de la production et de définition des routes de livraison aux clients. Ainsi, la finalité de cette étude n'est pas de modéliser mathématiquement ce problème complexe et de le résoudre, mais plutôt d'étudier le contexte général du problème et de proposer une stratégie de solution.

2.2 Méthodologie de travail

La méthodologie appliquée dans cette étude exploratoire s'inspire des trois premières étapes du processus DMAIC (définir, mesurer, analyser, innover, contrôler). Comme ce dernier, la recherche actuelle a débuté avec la définition d'un problème de tournées de véhicules en accord avec la direction de l'entreprise. Plusieurs rencontres avec la direction de GDTM ont ainsi été réalisées afin de circonscrire la problématique étudiée.

Ensuite, le problème plus particulièrement défini a été étudié. Principalement, une collecte importante de données a été réalisée afin de bien comprendre dans un premier temps l'ensemble des contraintes de décision et les options logistiques mises en pratique par l'entreprise. Notamment, une analyse rigoureuse des informations utilisées par le processus de décision actuel a été réalisée. Dans un deuxième temps, cette collecte d'information a permis de mesurer à la fois l'impact sur les ressources et la performance du processus actuel de décision.

Ensuite, dans le cadre du développement d'une stratégie de planification conjointe de l'allocation des commandes et des routes de transport, une analyse des informations requises a été réalisée. Autrement dit, cette analyse a pour but spécifique d'identifier les informations nécessaires qui ne sont pas actuellement utilisées par les personnes responsables. Cette étape méthodologique a permis notamment de mieux comprendre les implications pratiques et théoriques de la réingénierie de ce processus de planification.

Une fois ces analyses réalisées, nous avons développé une stratégie de solution permettant sur le plan pratique de répondre à l'ensemble des contraintes de planification identifiées par l'entreprise. Finalement, afin d'analyser les impacts potentiels d'une telle stratégie de planification, nous avons étudié et identifié les barrières informationnelles et organisationnelles à la mise en œuvre de cette stratégie.

2.2.1 Modélisation et analyse du processus de décision actuel

En premier lieu, il a été requis de comprendre et de modéliser le processus de décision actuel que pose la définition des tournées de livraisons chez GDTM. Les diagrammes d'activités de l'entreprise ont ainsi été réalisés, premièrement, par le biais de différentes entrevues auprès du personnel ressource de tous les départements impliqués. Le premier diagramme, qui est analysé en détail dans le prochain chapitre, est celui de la prise d'une commande jusqu'à sa livraison au client. L'exercice avait pour objectif de bien cerner les dépendances du processus de transport aux autres processus de décision de l'entreprise. Nous avons de plus participé à toutes les activités en suivant notamment une commande typique, afin de bien comprendre tous les rouages de ce processus de planification. De même, nous avons passé plusieurs journées à la répartition (c'est-à-dire la confection de routes de livraisons) de plusieurs usines afin de réaliser le diagramme des activités entourant le processus de confection des routes.

Le processus à l'étude a été ensuite analysé en termes d'objectifs et de contraintes de réalisation, qui sont également détaillés dans les prochaines sections. Nos nombreuses présences en entreprise étaient ainsi nécessaires pour comprendre toutes les exceptions auxquelles GDTM se heurte tous les jours, et ce, de différents points de vue, afin de les intégrer à cette recherche. En plus des contraintes logistiques propres à la réalité du GDTM, et qui diffèrent des contraintes vues dans la revue de la littérature, l'étude identifie aussi certaines autres contraintes que l'entreprise s'impose afin de simplifier le processus de planification.

Finalement, cette analyse du processus actuel de planification a permis d'identifier certains points faibles que nous pensons que la réingénierie du processus de planification devrait d'une manière ou d'une autre aborder.

2.2.2 Analyse des informations utilisées et requises

Afin de mieux comprendre l'environnement informationnel de l'entreprise, et ainsi connaître les informations disponibles pour prendre des décisions, une analyse des données actuellement utilisées et disponibles a été réalisée. Il a ainsi été nécessaire de déterminer les données actuellement exploitées pour la prise de décision, puisque c'est cette connaissance qui permet au processus actuel d'être mené à terme et sur laquelle il faut baser notre compréhension du problème pour la suite de cette recherche.

De plus, dans le cadre de cette analyse, nous avons étudié la fenêtre de temps minimale, durant laquelle les informations nécessaires à la planification conjointe des allocations des commandes aux usines et des routes de transport sont déterminées. En d'autres termes, cette analyse a pour but d'étudier l'aspect dynamique de la génération des informations dans le temps et de déterminer le délai minimal pendant lequel il est possible de prendre de telles décisions.

Finalement, une autre problématique étudiée ici concerne les contraintes et opportunités associées au système d'information en place. Notamment, GDTM possède le progiciel de gestion intégré SAP qui centralise déjà un ensemble d'informations. Il est donc important de bien comprendre cette source d'information, mais aussi ses limites. Par exemple, l'entreprise fait face à un manque d'unités de mesure comparables.

Ainsi, le développement d'un système d'aide à la planification implique non seulement une réingénierie des processus, mais également l'intégration des informations dans un tel système. On

verra ainsi plus en détails, à travers les prochains chapitres, les difficultés et limites qu'impose le système d'information actuel de l'entreprise.

2.2.3 Identification d'opportunités d'amélioration

Une fois les processus modélisés et les informations utilisées et disponibles analysées, notre attention a été portée sur l'amélioration du processus de décision actuel au niveau de l'allocation des bons de fabrication aux usines et de la confection des routes de livraison. Les intrants et les extrants nécessaires à chaque activité de ces processus ont été identifiés afin de déterminer les activités flexibles et qui peuvent être réorganisées en vue d'améliorer les problèmes de décisions. Il s'agit ici d'opportunités qui modifient le processus décisionnel sans pour autant négliger les règles de décisions internes, qui ont été validées au niveau de leur faisabilité avec les départements concernés de l'entreprise.

2.2.4 Développement d'une stratégie de planification conjointe

Après avoir identifié les limites et les opportunités d'amélioration, une stratégie de solution pour le développement d'un système d'aide à la planification a ensuite été avancée et analysée dans leur contexte. En fait, cette stratégie comporte des coûts et des risques à sa réalisation qui ont également été analysés.

2.2.5 Analyse des barrières à la mise en œuvre de la stratégie proposée

Finalement, afin de mieux comprendre l'impact sur les processus organisationnels et les systèmes d'information en place, la stratégie de solution proposée comporte différentes barrières à l'implantation, qu'il est important d'approfondir. Ces barrières sont notamment de nature informationnelle et organisationnelle.

CHAPITRE 3 MODÉLISATION DU PROCESSUS DE DÉCISION

Dans le cadre de la modélisation du processus, nous avons premièrement analysé le problème de transport et cherché à comprendre l'objectif du processus de planification et ses contraintes. Par la suite, nous avons analysé et modélisé le processus de planification de la production.

3.1 Analyse du problème de transport et ses contraintes

Tel que décrit au chapitre 2, l'objectif de cette recherche vise à étudier et proposer une stratégie de solution à un problème complexe de planification. Cette section analyse en détails la nature et les contraintes de ce processus de décision tel que mis en œuvre actuellement par l'entreprise.

3.1.1 Contraintes du problème de transport

L'optimisation du problème de transport implique de multiples contraintes complexes propres à la réalité de GDTM. Cette section analyse et présente l'ensemble de ces contraintes.

En tout premier lieu, il faut considérer la contrainte de la demande, c'est-à-dire les livraisons requises pour une journée donnée. La demande moyenne est de soixante livraisons par jour en saison hivernale, et de près de deux cents livraisons par jour en période de forte demande durant le printemps et l'été pendant lesquels beaucoup de chantiers de construction sont actifs. Chaque livraison est déterminée par les types de produits, la quantité et les dimensions des produits, son besoin ou non d'être manipulée par une grue au moment de la livraison, ainsi que la localisation de son site de dépôt et de la hauteur de la bâtisse (lorsqu'il faut ériger).

Ensuite, il y a la contrainte de la flotte hétérogène de camions. Le GDTM possède différents types de tracteurs, de porteurs remorques et de semi-remorques avec différents types d'équipements, ce qui rend le problème plus complexe puisqu'il faut choisir pour chaque route un type de camion approprié. L'hétérogénéité des remorques implique premièrement des contraintes de capacité de chargement différentes pour chaque type de remorques. À l'hétérogénéité de la flotte de l'entreprise, s'ajoute celle de la flotte externe. Ainsi, l'entreprise ne possède pas la capacité nécessaire au transport de toutes les commandes en haute saison. Il est en effet plus avantageux de recourir à des transporteurs externes que de supporter une flotte de transport qui ne serait que peu

utilisée en hiver. Le transport externe est donc obligatoirement utilisé pour répondre à la demande variable. Cette caractéristique implique de tenir compte de la capacité des remorques de chaque sous-traitant et de tenir compte aussi de leurs coûts spécifiques plus élevés.

Ensuite, il y a la problématique du manque d'information concernant les limites de capacité des remorques. En effet, puisqu'il s'agit de remorques à aire ouverte (plateforme), la capacité de chargement pour chaque type de remorque n'est pas clairement connue. De plus, les dimensions de chargement sont sujettes à diverses contraintes légales de dépassement de la remorque. Il y a aussi le transport hors-norme, qui peut être effectué lorsque la dimension des produits à livrer l'exige. Ainsi, la capacité des remorques est certainement la contrainte la plus complexe à respecter puisqu'elle s'exprime à la fois en fonction des caractéristiques des remorques, des dimensions des produits et de l'ordre et de la disposition du chargement des produits sur la remorque. La détermination de cette capacité est cependant nécessaire puisqu'elle détermine quels agencements de commandes peuvent être considérés sur une même remorque pour ensuite pouvoir analyser les tournées de livraisons possibles. Il faut donc déterminer les longueurs et les hauteurs maximales des produits pouvant être acceptées sur chaque remorque (avec les dépassements autorisés). De même, chaque remorque possède une quantité maximale de volume d'espace que l'on doit respecter (chargements légaux). Cette dernière notion de volume d'espace est à elle seule complexe comme il sera vu dans la section 4.2.

Ainsi, la contrainte de capacité de chargement est difficile à déterminer puisqu'elle est fonction de l'ordre de chargement et de déchargement. En d'autres termes, afin d'éviter des bris de produits, l'entreprise privilégie un minimum de manipulations des produits en chantier. Il faut donc que la commande du dessous soit la dernière à être livrée, tout comme la livraison du dessus doit être la première sur l'itinéraire d'un camion. Cet ordonnancement nécessite une connaissance approfondie des commandes et est réalisé uniquement à partir de l'expérience des répartiteurs. En effet, une commande constituée de petits produits ne peut pas se retrouver sous une commande avec des produits de très grandes dimensions afin d'assurer la stabilité du chargement. Selon les données historiques compilées, dont il sera question au chapitre 4, une route de livraison comporte un chargement moyen de 1.5 clients (livraisons) avec un maximum de 6 clients en basse saison.

En bref, la capacité d'une remorque ne peut pas être déterminée de façon simple. Elle s'exprime plutôt comme une frontière floue entre ce qui est réalisable et ce qui ne l'est pas, définie

par le savoir-faire tacite de répartiteur. En effet, il n'y a pas de références pour définir la capacité d'une remorque quelle qu'en soit ses dimensions. En d'autres termes, les informations disponibles, incluant notamment les dimensions des produits mis sur les remorques, ne donnent qu'une indication approximative de la capacité pour ce type spécifique de mélange de produits. Ainsi, des produits plus, ou respectivement moins bien, empilables pourraient impliquer une capacité de transport supérieure, respectivement inférieure. Cette notion de capacité de transport est donc délicate dans le contexte de ce problème de décision.

Une autre contrainte de transport concerne l'appartenance des camionneurs à une usine. Cela implique que ceux-ci doivent commencer et terminer leurs tournées au même endroit. De la même manière, les camions sont traditionnellement associés aux camionneurs car ces derniers ont non-seulement différentes habitudes, mais ils ont différentes aptitudes en ce qui a trait aux dimensions, mais surtout à l'équipement des camions. De plus, comme l'entreprise a recours à plusieurs fournisseurs externes de transport, ces derniers ont nécessairement des contraintes de camion/remorque spécifiques. Cependant, les camionneurs pourraient passer à toutes les autres usines au courant d'une journée si cela est nécessaire à l'optimisation des distances parcourues.

En ce qui concerne les transporteurs externes, il faut également tenir compte des ententes de service que GDTM a avec ces derniers. Par exemple, les transporteurs externes avec entente contractuelle (ou verbale) devraient être considérés plus prioritaires qu'un remorqueur avec qui aucune entente contractuelle ne doit être suivie. Ainsi, chaque usine de GDTM utilise quotidiennement des transporteurs externes. Certains de ceux-ci peuvent être perçus comme des utilisateurs réguliers puisqu'ils travaillent pratiquement pour l'entreprise à temps plein. D'autres sont demandés quotidiennement mais seulement pour un bloc d'heures minimal (par exemple : 4 heures par jour). D'autres encore, dont l'usage n'est pas souhaitable, ne sont utilisés que lorsque les fenêtres de temps l'exigent (par exemple : compagnie de remorquage). L'analyse des opportunités réalisée au Chapitre 5 devra donc prendre en compte ces fournisseurs de transport à ces deux niveaux (interne et externe), puisque l'un est plus souhaitable que l'autre en termes de coûts, mais également en termes de partenariats stratégiques. Étant donné que l'entreprise a une vision client très poussée, des partenariats d'affaires avec des entreprises de transport est une stratégie relationnelle importante nécessaire à leur flexibilité. Encore ici, la philosophie axée sur le service à la clientèle limite l'optimisation du transport au détriment d'une forte réputation qui fait partie de la réussite de l'entreprise.

Une autre contrainte de transport concerne les fenêtres de temps. Chez GDTM, ces dernières sont découpées en six périodes de livraison, soit cinq blocs de deux heures couvrant de 7h à 17h, plus une catégorie qui couvre toute la plage horaire de livraison. Les fenêtres de temps sont une contrainte obligatoire qui doit être respectée, afin que les employés de chantier puissent coordonner leurs activités en conséquence. De plus, l'entreprise s'impose un deuxième objectif de fenêtre de temps visée, en priorisant la première heure de la fenêtre de temps demandée par le client, à moins d'une demande contraire par ce dernier. Donc, une demande de livraison qui doit être effectuée entre 7h et 9h le matin devrait idéalement être livrée avant 8h pour répondre aux attentes du client. Ici encore, la philosophie de l'entreprise axée sur le service à la clientèle est une contrainte importante de planification que s'impose l'entreprise.

En ce qui concerne la localisation des usines, elle est évidemment fixe et chacune d'elles possède sa propre capacité de production en termes de quantité et de types de produits. Ces contraintes doivent être considérées. Elles sont détaillées dans la sous-section 3.1.2.

La contrainte de transport hors-normes fait également partie du problème. GDTM possède des permis de chargements annuels pour permettre de livrer leur matériel jusqu'à une largeur de 12 pieds 5 pouces et 9/16ième de pouce, soit 3.8 mètres. Au niveau du dessin du périmètre des produits, les techniciens s'assurent d'ajuster ses derniers afin qu'ils n'excèdent jamais les dimensions permises. Cependant, certaines commandes ne peuvent se soumettre à cette contrainte pour cause d'ingénierie. Par conséquent, le département de la logistique est sollicité, afin d'émettre un prix supplémentaire à la commande initiale pour couvrir les frais. Le transport hors-normes occupe une portion négligeable des activités de planification du transport. Il peut donc être géré au cas par cas.

Finalement, GDTM est en constante évolution et possède également une compagnie en Ontario, sous la dénomination sociale de Superior, en plus de bureaux d'ingénierie et de dessins techniques en Roumanie. Actuellement, en ce qui concerne la gestion du transport, les entreprises situées au Québec ne possèdent pas de permis pour le transport hors de la province. Par contre, l'usine ontarienne possède un permis pour traverser la frontière du Québec et venir s'approvisionner en cas de besoin.

3.1.2 Contraintes du problème de gestion de la capacité des usines

La capacité de production, outre le type de produits, ne constitue pas une contrainte importante à ce jour, puisque les usines produisent généralement au-dessous de leur capacité. Autrement dit, chaque usine a une certaine capacité de produire uniquement certains types de produits, et lorsque le volume cumulé des produits à assembler pour une journée s'approche d'un certain niveau, la planification fait un lissage de la production sur une période de 2 à 3 jours seulement. Le lissage de la production permet au planificateur d'usine de produire à l'avance (ou de repousser) certaines commandes afin que l'usine fonctionne à des niveaux de production similaires tous les jours. Ce niveau de production fluctue selon la saisonnalité de la demande comme il a déjà été discuté. La capacité de production s'exprime en une unité de mesure comparative de production actuellement utilisée par l'entreprise, soit le pied mesure planche (PMP).

3.1.3 Tableau synthèse des contraintes

Afin de bien comprendre le problème actuel que posent les processus de planification du transport et de la production chez GDTM, le tableau 3.1 propose une synthèse de ces contraintes.

Tableau 3.1 : Synthèse des contraintes

Contraintes	Détails
Demandes	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Différents types de produits ✓ Quantités et dimensions des produits ✓ Besoin d'être érigé (et hauteur de la bâtisse s'il y a lieu) ✓ Lieu de la livraison
Flotte de camions et remorques (détaillée à la sous-section 4.2.2)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Plusieurs types de camions-remorques ✓ Différents équipements de déchargement ✓ Remorques à aires ouvertes avec possibilité de dépassements
Capacité des remorques	<ul style="list-style-type: none"> ✓ En fonction des caractéristiques des camions-remorques choisis ✓ En fonction des dimensions des produits ✓ En fonction du volume d'espace ✓ Seules des données historiques peuvent donner une indication concernant la limite de capacité (analyse à la sous-section 4.4.1)
Ordre de chargement	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Minimiser la manipulation en chantier (commande du dessus doit être la première livrée) ✓ Stabilité du chargement (plus grands produits sous les plus petits)
Transporteurs externes	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Transporteurs avec ententes différentes ✓ Transporteurs sans entente

Tableau 3.1 : Synthèse des contraintes (suite et fin)

Camions-remorques associés	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Pour transporteurs externes ✓ Selon l'expérience des camionneurs
Appartenance des camionneurs à une usine	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Doivent commencer et terminer leurs tournées à la même usine
Retour en charge	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Échange de camions entre usine (centralisation du transport) ✓ Retour de produit
Fenêtres de temps	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Six périodes de livraison ✓ Priorisation de la première heure (sur le bloc de deux heures)
Capacité de production des usines	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Différents types de produits (Annexe A) ✓ Différentes capacités de production maximale ✓ Différentes technologies de production (différents coûts) ✓ Besoin de lissage de la production
Transport hors-normes	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Produits dont les dimensions excèdent les limites permises du Ministère des transports
Transport hors-province	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Usine en Ontario

3.2 Modélisation et analyse du processus de planification de la production

Afin de mieux comprendre le déroulement actuel des activités au sein de la compagnie, il est nécessaire de décrire le processus global de la prise d'une commande jusqu'à sa livraison chez le client et du processus de confection des routes de livraison. La figure 3.1 présente de manière générale les activités impliquées dans les décisions de transport. Bien que ces processus soient imbriqués au sein du processus général de planification, les décisions de production et de transport sont quant à elles réalisées de façon hiérarchique. En effet, comme il a déjà été présenté précédemment, le fait que ces deux processus décisionnels ne soient pas réalisés conjointement contraint la qualité de la performance logistique de l'entreprise. En modélisant de manière détaillée ces processus et en les analysant, nous identifions des opportunités d'amélioration impliquant, entre autres, des stratégies de solution pour le développement d'un nouveau système d'aide à la planification, en plus d'en faire ressortir son caractère complexe.

3.2.1 Processus de prise d'une commande jusqu'à sa livraison au client

Le processus de planification de l'entreprise a été modélisé selon le formalisme du *Business Process Modeling* (modélisation des processus d'affaires), en utilisant le logiciel Bizagi². Ce formalisme permet la standardisation de la représentation des processus pour toutes entreprises. L'annexe B détaille ce processus qui est synthétisé dans la figure 3.1. Ces deux modèles d'activités ont été validés avec l'entreprise. Tel que présenté à la figure 3.1, le diagramme d'activités de GDTM est divisé en 5 départements : commis et service à la clientèle, département technique, production, logistique, et emballage et manutention. Le département des commis et service à la clientèle fait référence aux commis de bureaux qui entrent les informations de manière informatique, ainsi qu'aux vendeurs qui collectent les informations nécessaires afin de mettre en marche le processus analysé ici. Le département technique fait référence à l'équipe technique qui est en charge des dessins de production en lien avec les plans de construction des clients et les différentes normes de construction entourant la configuration de la charpente d'un toit de bois. Par exemple, les normes de construction de toitures varient d'une région à l'autre comme l'accumulation de neige moyenne. Ensuite, il y a le département de la production et celui de l'emballage et de la manutention. Finalement, le processus se termine avec le département de la logistique, qui englobe les activités de répartition, de chargement et de livraison.

Le processus débute avec une commande. Cette dernière peut venir de l'interne ou de l'externe. Une commande interne revient à une demande du département de production, afin de remonter le niveau du stock de certains produits standards, essentiellement des solives de tailles courantes. La commande est alors directement tirée du système SAP et envoyée à la production pour la planification en usine, dont il sera sujet plus loin dans le processus. Une commande externe est une demande client. Celle-ci est associée à un vendeur et entre à l'étape de la soumission. Un vendeur ou un employé de l'équipe d'estimation remet une soumission au client pour sa commande. Celle-ci peut ne pas être acceptée par le client. Si c'est le cas, le vendeur entrera en phase de négociation afin de soumettre un nouvel estimé. Suite à cette négociation, le processus peut prendre fin si le client n'est pas satisfait. Lorsque la soumission est acceptée, le

² Voir Annexe B : Processus de la prise d'une commande jusqu'à sa livraison au client

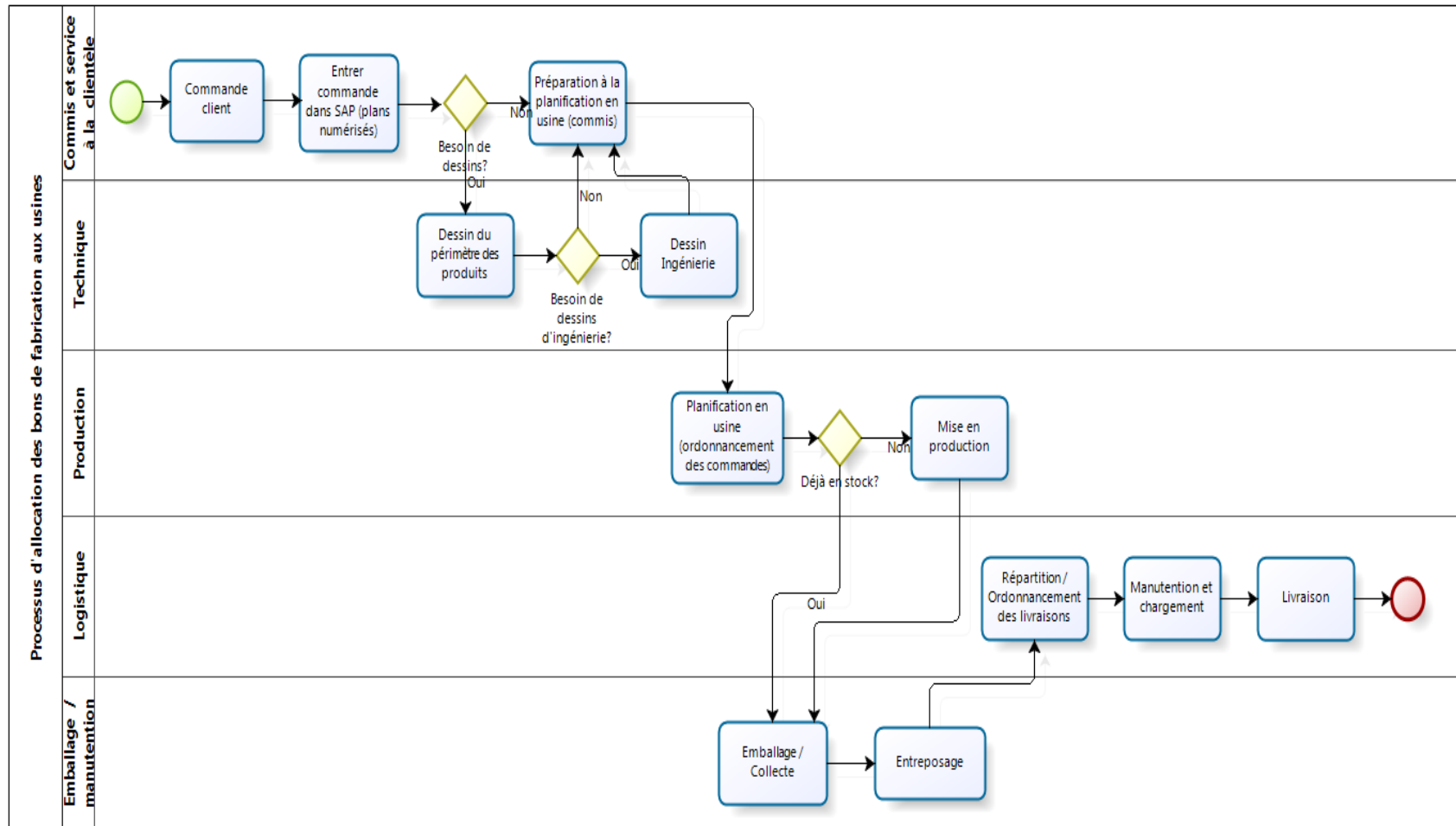


Figure 3.1 : Processus synthétisé de la prise d'une commande jusqu'à sa livraison chez le client

client doit fournir les plans en sa possession afin de créer un contrat physique. Ces derniers seront ensuite analysés pour faire ressortir les informations erronées ou manquantes.

Ensuite, un commis de bureau entre les informations dans SAP et fait une copie informatique des plans de construction. Parfois, il s'agit des plans exhaustifs d'architectes alors que dans d'autres cas, les clients peuvent soumettre le plan du carré des fondations tout simplement. C'est-à-dire les plans des fondations de la bâtisse sans détail sur la division des pièces et dépourvus de tout détail. Dans ce dernier cas, c'est l'équipe technique de l'organisation qui se charge de la configuration du toit en fonction du carré de construction en ayant une date de livraison sujette à changement. La commande est acheminée à l'usine qui dessert la région où la livraison doit être faite.

Ensuite, selon le type de produits de la commande, il y a un besoin ou non de passer par le département technique du processus. En effet, s'il s'agit de solives de planchers standards, aucun dessin n'est requis. La commande est acheminée à la préparation de la planification en usine par un commis de bureau. Sinon, des solives de planchers spéciales doivent être soumises à l'équipe des dessins des périmètres des produits. Dans le cas des fermes de toits, vu la complexité et la diversité des produits, les commandes sont réparties par le superviseur à son équipe. Une fois le dessin complété, le chef d'équipe évalue le besoin de correctifs. Encore une fois selon le type de produits, il y a un besoin ou non de dessins d'ingénierie, c'est-à-dire le dessin de la structure intérieur du produit. Seules les fermes de toit exigent cette étape du processus et les dessins sont encore une fois soumis à un chef d'équipe pour des correctifs s'il y a lieu.

L'activité de préparation de la planification est effectuée par un commis de bureau comme il a déjà été mentionné précédemment. Ce dernier entre les informations nécessaires au module production de SAP. Ensuite, à l'étape de la planification en usine, les commandes provenant de l'interne rejoignent les commandes externes dans le processus de la prise d'une commande jusqu'à sa livraison. L'ordonnancement des commandes commence par la validation du stock déjà en stock pour assurer un roulement des produits réguliers. Si la commande n'est pas déjà en stock, elle sera donc envoyée à la production qui est sous la responsabilité du planificateur d'usine. Ce dernier peut recevoir des commandes de manière occasionnelle jusqu'à une journée avant la date de livraison. La commande ainsi produite et/ou déjà en stock rejoint l'activité de collecte et d'emballage, avant d'être entreposée par le département de l'emballage et de la manutention.

Les dernières activités du processus décrit ici se font au niveau du département de la logistique, dont le processus est détaillé à la section suivante. Premièrement, les répartiteurs ordonnent les livraisons la journée ouvrable précédant la date de livraison, en tenant compte des ajouts et retours quotidiens. Ils simulent manuellement dans un ordre logique les livraisons à compléter selon leur situation géographique, les fenêtres de temps, les camionneurs et équipements disponibles et nécessaires et selon les capacités et besoins de s’approvisionner sur les trajets des routes prédéfinies. Puis, ils se chargent de faire manutentionner et charger les commandes selon une logique de déchargement qu’ils ont acquise avec l’expérience. Et finalement, le processus prend fin après que les livraisons aux clients aient été complétées.

3.2.2 Processus de répartition et de livraison

Cette section présente et étudie en détail le processus de répartition³ chez GDTM. Ce processus de planification a pour but de définir les routes de livraison. Tel que mentionné précédemment, ce processus est réalisé uniquement à partir de l’expérience tacite des employés concernés. Il débute la journée ouvrable précédant les livraisons à acheminer, à la fin de la journée lorsque la journée de production est terminée (laissant un délai de deux heures aux répartiteurs pour ordonner les livraisons de la journée ouvrable suivante). Les commandes à livrer sont ainsi entreposées et groupées logiquement pour une meilleure visibilité. À ce moment, les bons de chargement et de livraison sont imprimés afin de servir comme seuls intrants à l’activité de définition des routes. Les répartiteurs étalent les bons, pour les regrouper par proximité géographique des clients à desservir. Puis, ils conçoivent manuellement par essais et erreurs les routes de livraison selon cette proximité, selon la fenêtre de temps exigée par le client, selon leurs connaissances de la capacité des remorques en relation avec les commandes à livrer, selon le besoin d’équipement du camion et selon les camionneurs et remorques disponibles. Les règles heuristiques utilisées par les répartiteurs afin de concevoir les routes de livraisons sont les suivantes :

1. Les bons de livraison sont premièrement regroupés par situation géographique.

³ Voir annexe C : Processus de répartition et de livraison

2. Chaque sous-ensemble de bons de livraison correspondant à une région en particulier est ordonné selon les fenêtres de temps (fenêtre de livraison du plus tôt au plus tard en terminant avec la fenêtre de livraison qui couvre toute la journée).
3. Le répartiteur regarde si, selon son expérience, des bons de livraison d'une région peuvent se retrouver sur une même remorque;
 - a. Le répartiteur crée un sous-ensemble de bons de livraison (un chargement) qu'il juge inférieur à la capacité d'un type de remorque;
 - b. Si un chargement (un sous-ensemble donné de bons de livraison) est moindre que la capacité intuitive d'une remorque moyenne (soit 48 pieds), alors cette route reste disponible pour intégrer d'autres bons de livraison;
 - c. Si un chargement lui semble admissible (c'est-à-dire proche de la limite intuitive en regardant les dessins des produits pour se faire une idée du résultat), la route est mise de côté et on passe à un autre sous-ensemble de livraisons dans la même, ou une autre région. Certains répartiteurs se sont déterminés certains paramètres afin de les aider dans leur décision. Par exemple, certains d'entre eux considèrent qu'un chargement comprenant 4000 PMP et moins représente la capacité d'une remorque moyenne de 48 pieds. D'autres préfèrent évaluer les chargements en nombre de produits et considèrent qu'en moyenne une remorque de 48 pieds peut contenir un chargement de 200 produits et moins. Le prochain chapitre analyse plusieurs chargements et montre que ces estimés (4000 PMP ou 200 produits) ne se rapprochent pas toujours de l'optimum.
 - d. Si un chargement dépasse la capacité intuitive de la remorque, le répartiteur choisit de retirer certaines commandes de la route considérée et on continue jusqu'à ce que la route soit complète. Il n'y a pas de règle établie en ce qui concerne les commandes retirées ou considérées. Cette décision se fait au cas par cas. Parfois, une seule commande doit être retirée pour rendre le chargement légal. La commande choisie pour être retirée est fonction de sa situation géographique, de sa fenêtre de temps ou d'un équipement de déchargement nécessaire ou non. Si plusieurs commandes ont la même fenêtre de temps, il est probable que la commande retirée de la route soit une de celles qui ont les mêmes fenêtres de temps afin d'éviter des retards possibles

des livraisons. Encore, si une commande est située géographiquement près d'une autre région possédant sa propre route, cette dernière aura de forte chance d'être retirée pour être incluse dans la route de la région voisine. Finalement, si plusieurs livraisons ont un besoin d'équipements spéciaux, il est possible que ce soit la livraison qui n'a pas besoin d'équipements qui soit retirée.

4. Une fois les routes définies pour certaines régions données, le répartiteur évalue les remorques et équipements disponibles et les associe aux premières routes planifiées. Il n'existe pas de liste de camionneurs et remorques disponibles, ces informations peuvent changer tous les jours (par exemple : un camionneur absent ou une remorque brisée) et sont connues par les répartiteurs en place. Encore une fois, cette association peut faire ressortir des chargements qui lui semble en deçà, ou au-delà, de la capacité de la remorque. L'étape 3 est alors répétée pour retirer ou ajouter des commandes en suivant les mêmes règles heuristiques. Lorsque le besoin d'équipement de déchargement ou le besoin de remorques excède la capacité de la flotte de transport de l'entreprise dû aux fenêtres de temps ou aux situations géographiques éloignées, il y a recours aux transporteurs externes.
5. Lorsque les routes à l'intérieur de chaque région donnée sont complétées, le répartiteur insère les bons de livraison restants (les commandes retirées des routes en raison d'un chargement qui semble excédentaire ou les commandes ne faisant pas partie d'aucune route car éloignées géographiquement) parmi les routes en regardant les capacités intuitives restantes des remorques et la situation géographiques de ces demandes.
6. Finalement, lorsque l'ensemble des routes sont complétées, les bons de chargement ordonnancés sont remis aux caristes et les bons de livraison également soumis à ce même ordre, aux camionneurs.

En saison hivernale, le GDTM gère une moyenne de soixante livraisons réparties dans les 6 périodes de livraison (fenêtres de temps) comme le montre la figure 3.2 à la page suivante. Les périodes où la demande est la plus forte sont la première fenêtre de temps de la journée et la période couvrant toute la journée. Le nombre de livraison se retrouvant sur une même remorque varie entre 1 et 6, en ayant une moyenne de 1.5 livraisons. Ces données sont expliquées et analysées plus en détails dans le prochain chapitre.

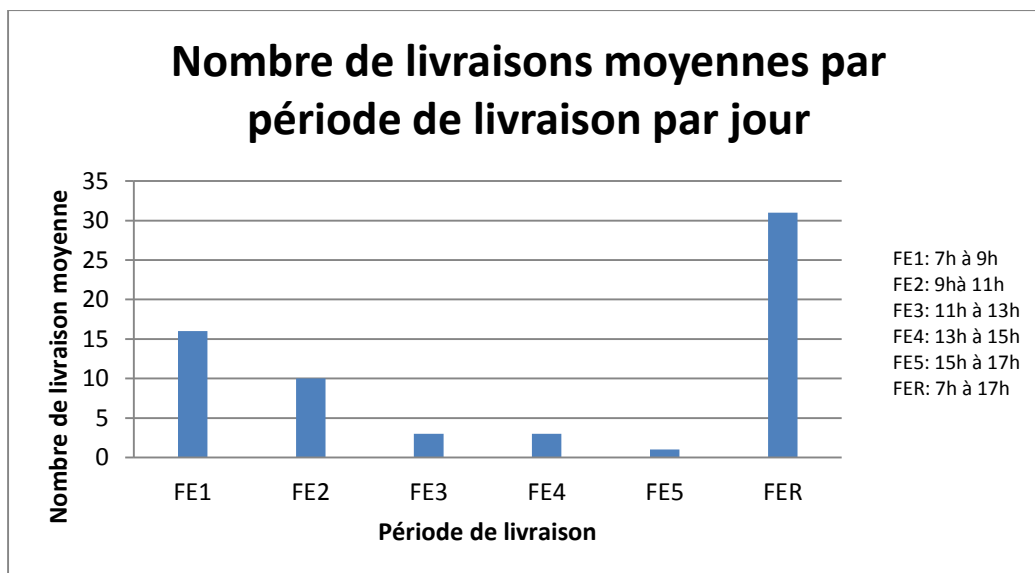


Figure 3.2 : Nombre de livraisons moyennes par période de livraison par jour

Le processus actuel de définition des routes étant complètement soumis à la connaissance des répartiteurs, il peut arriver que le chargement planifié dépasse la capacité de la remorque et/ou les contraintes légales de dépassement d'une remorque. Un second ordonnancement est alors nécessaire et peut survenir à n'importe quel moment de la journée. Cette deuxième activité de répartition implique alors un doublon de l'activité.

3.3 Synthèse de l'analyse des processus actuels de planification

La modélisation et l'analyse des processus de planification de GDTM permettent de mieux comprendre leurs limites et par conséquent leurs opportunités d'amélioration. Le tableau 3.2 présente une synthèse de ces limites et de ces opportunités.

Ainsi, la décision d'allocation des bons de fabrication aux usines se fait une fois la commande acceptée et est directement allouée à une usine. Cette décision, indépendante des autres activités qui en découlent, incluant la production et le transport, restreint la flexibilité de l'entreprise (capacité d'allouer les commandes basée sur d'autres critères que la proximité; flotte dédiée aux usines) et limite ainsi la performance logistique des décisions de transport. De plus, l'allocation de la production se fait indépendamment des décisions de transport dans un contexte où les possibilités sont préalablement très contraignantes et imposent de lourdes limites telles que

vues dans le chapitre précédent. Ainsi, une commande pourrait plutôt être produite à une usine en particulier ayant déjà prévu faire un échange de camions et permettre une plus grande flexibilité

Tableau 3.2 : Synthèse des limites et opportunités du processus actuel

<i>Caractéristique du processus</i>	<i>Limites</i>	<i>Opportunités</i>
Flotte dédiée aux usines	<ul style="list-style-type: none"> • Les lieux de départ et d'arrivée des routes doivent coïncider; • Pas de chargement à une autre usine; • Pas de retour en charge; 	<ul style="list-style-type: none"> • Optimiser les routes de transport en autorisant des routes avec dépôts multiples et retour en charge;
Indépendance des décisions de production et de transport	<ul style="list-style-type: none"> • La planification des routes de transport est contrainte par le lieu et la date de chargement des commandes; 	<ul style="list-style-type: none"> • Optimiser les routes de transport en ajustant le lieu et la date de chargement des commandes;
Décentralisation de la planification du transport (processus envisagé par GDTM)	<ul style="list-style-type: none"> • Pas de synergie possible entre les usines au niveau du retour en charge; • Pas de chargement à une autre usine. 	<ul style="list-style-type: none"> • Optimiser les routes de transport en partageant la flotte de transport et en permettant les retours en charge.

décisionnelle. Autrement dit, il n'est pas possible d'envisager des routes de transport avec retour en charge. Par exemple, un camion pourrait faire une livraison dans un secteur proche d'une usine différente de son origine, afin d'y charger un second chargement et faire une deuxième livraison dans un secteur proche de son usine d'origine.

Afin de mettre en place un nouveau processus de planification et de permettre une meilleure rentabilité de l'entreprise, certaines activités pourraient être ordonnancées et produites différemment afin d'apporter cette opportunité d'amélioration. Par exemple, une première répartition pourrait se faire de manière conjointe à l'allocation des bons de fabrication en usine. Certaines des opportunités de transformation des processus de décision et de développement d'une telle planification seront détaillées au chapitre 5. Dans le prochain chapitre où les besoins en information seront analysés, une collecte de données historiques permet entre autres d'illustrer la complexité de la problématique de répartition chez GDTM.

CHAPITRE 4 ANALYSE DES BESOINS EN INFORMATION

Disposant maintenant de la connaissance du processus décisionnel, ce chapitre analyse les besoins en information requis pour permettre le développement d'un outil d'aide à la décision dans le contexte de GDTM. Dans un premier temps, nous analysons la disponibilité temporelle des informations, et plus particulièrement la nécessité de définir des balises dans le temps qui permettent de prendre les informations dans un temps prédéfini pour réaliser la planification des opérations. Dans un deuxième temps, nous analysons les informations actuellement utilisées pour planifier les opérations, ainsi que les informations disponibles dans SAP. Finalement, dans la dernière section de ce chapitre, nous analysons les données décrivant les résultats du processus de planification actuel des routes.

4.1 Fenêtre de temps pour la planification

Afin de faire la réingénierie des processus de planification du transport et d'allocation des ordres de fabrication aux usines, il faut déterminer premièrement le moment où les informations nécessaires sont disponibles. En effet, si les hypothèses de routes deviennent un intrant aux décisions d'allocation des bons de fabrication aux usines, les informations nécessaires à la construction des tournées de véhicules deviennent alors un préalable aux décisions de planification de la production. Aussi, comme ces informations peuvent être modifiées en cours de route (par exemple, changement de date de livraison), il faut déterminer une fenêtre de temps minimum (c'est-à-dire au plus tard) pour une telle planification des opérations. Autrement dit, nous définissons la fenêtre de temps pour la planification conjointe du transport et de l'allocation des ordres de fabrication comme étant la période de temps entre la date de réalisation de la livraison et le moment au plus tard, pendant laquelle il n'est pas possible d'ajouter de nouvelles données au processus de planification (il s'agit aussi de l'horizon gelé). Actuellement, les décisions de transport se font la journée précédant les livraisons à compléter, une fois la production terminée. Les décisions de production, quant à elles, sont prises lors des premières activités du processus de la prise d'une commande jusqu'à sa livraison chez le client. En effet, comme il a été détaillé au chapitre 3, en ce qui concerne la décision de l'allocation des bons de fabrication aux usines, les commandes sont associées à un vendeur qui lui-même est attribué à une usine en particulier, alors que la décision de

production elle-même, se fait généralement de une à deux journées avant de la date de livraison demandée. Autrement dit, dans le processus actuel de planification, l'horizon gelé de la planification du transport est de 1 jour avant la livraison, alors que celui de l'allocation des ordres de fabrication est de 2 jours avant la production.

Afin d'intégrer les processus de manière systématique, il est important de s'intéresser à la disponibilité des informations dans le temps. De plus, dans un contexte où l'information peut changer très vite (mise à jour par le client), cette fenêtre de temps donne un caractère fixe à l'information. L'entreprise offre une flexibilité à sa clientèle pour les changements de dernière minute, cependant la planification de la production et la production en soi ont besoin d'une période de temps finie afin d'être complétées, durant laquelle les changements ne seront pas considérés pour les décisions de planification de la production. La limite au plus tard de la fenêtre de temps ne doit ainsi pas se situer trop tôt, au risque d'être loin de la demande actualisée, et ne peut se situer trop près dans le temps de la date de livraison puisqu'elle limiterait entre autres la possibilité de lissage de la production.

En considérant les contraintes de réalisation détaillées à la section 3.1.2, il est possible de les associer aux activités du processus de planification de la production pour en faire ressortir une fenêtre de temps durant laquelle les données et les informations sont disponibles. La figure 4.1 représente cet horizon gelé.

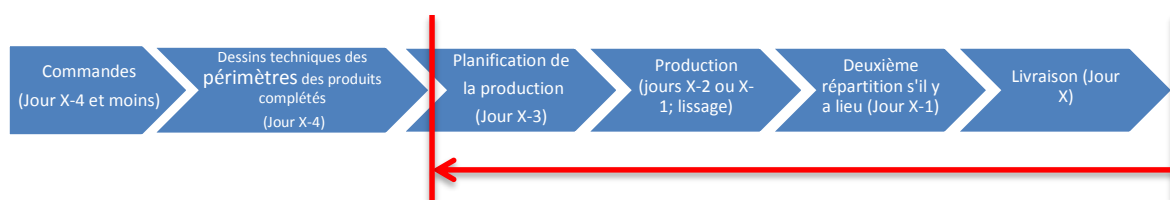


Figure 4.1 : Horizon gelé de planification

Les principales activités sont ordonnancées avec une référence temporelle en fonction d'une journée X de livraison. L'activité de planification de la production, ici X-3, se fait donc trois jours avant la date de livraison, alors que la production se fait une à deux journées avant cette date. Cet horizon repose sur un ensemble de contraintes dont celles reliées à la demande et à la nécessité d'avoir les données des dimensions des produits, puisque le processus de planification du transport

doit tenir compte de la contrainte de capacité des remorques. Il est donc nécessaire de déterminer cet horizon de planification après l'activité du dessin du périmètre des produits du département technique. Actuellement, cette activité technique est faite quatre jours avant la date de livraison demandée par le client. Comme le monde de la construction est soumis à des réglementations et des variables diverses, les plans de construction sont souvent modifiés au cours d'un projet. Si un changement est demandé au niveau du dessin du périmètre des produits, la date de livraison sera repoussée en conséquence de la portion du processus de production affecté. Autrement dit, il y a un délai minimal de trois jours entre la fin des dessins des périmètres des produits et la livraison. Si un client demande une modification de sa commande initiale dans ce délai, la date de livraison devra tenir compte de ce délai minimal. Un nouveau processus de planification devra donc se heurter à ces exceptions de moins de trois jours, qui seront traitées par des fournisseurs de transport externes, tel que fait actuellement. Nous pouvons ainsi déterminer un horizon gelé de planification conjoint de l'allocation de la production à une usine et du transport, soit deux jours précédant la production, ou trois précédant la livraison.

4.2 Analyse des informations utilisées pour la répartition

GDTM s'est continuellement adapté à son évolution et au marché dans lequel il œuvre. En se dotant du logiciel SAP, il a fait un grand pas en avant concernant les technologies de l'information. Grâce à cet investissement, ils ont su mieux gérer les informations de plusieurs de leurs processus et départements. Seuls certains modules de ce logiciel sont présentement exploités et intégrés. Le département de la logistique du transport n'utilise pas la technologie SAP, et comme l'a présenté cette étude, il ne peut non plus être supporté par une des solutions proposées dans la littérature, tel que vue dans le chapitre 1. De par son contexte unique, les informations utilisées pour son processus de répartition sont à la fois spécifiques, très personnalisées et soumises à beaucoup d'analyses et de réflexions humaines.

Afin d'analyser les informations actuellement utilisées, nous avons premièrement organisé une collecte de données comparables au sein des quatre usines. Ayant des processus informationnels distincts, les informations ne sont pas compilées de la même manière. Ainsi, nous avons dû convertir les données en des unités de mesures comparables afin de pouvoir les analyser par la suite. Les prochaines sections présentent les informations disponibles.

4.2.1 Collecte des données

Afin de mieux comprendre la nature des informations utiles à la planification conjointe de la production et du transport, cette section compile et analyse les données servant d'intrant aux processus décisionnels actuels. Ainsi, après avoir listé les informations requises à la planification actuelle des opérations en relation avec les contraintes exprimées au chapitre 3, il a été nécessaire d'impliquer toutes les usines pour la compilation de ces données. Avec l'aide d'une personne ressource par usine, il a été possible de compiler des données comparables. Les informations demandées ont été cumulées pour deux semaines de production/livraison en période de faible saison:

- ✓ *Nombre de camionneurs disponibles*
- ✓ *Leur horaire de travail*
- ✓ *Leur région privilégiée par camionneur pour leur connaissance des tronçons contraignants (si applicable)*
- ✓ *Les camions-remorques-équipements disponibles (nombres, capacités de remorques et équipements de manutention des camions)*
- ✓ *Le nombre de commandes*
- ✓ *Les heures de livraison demandées par les clients*
- ✓ *Les dimensions des commandes (avec différentes unités de mesure selon les produits)*
- ✓ *Les dessins des commandes*
- ✓ *L'adresse de livraison*
- ✓ *Le besoin que les produits soient érigés ou non ainsi que la hauteur de la charpente en chantier*
- ✓ *L'historique des tournées de livraison (afin de déterminer les chargements acceptés dans le passé, les temps de chargement et de déchargement)*
- ✓ *Ainsi que les ajouts à la dernière minute durant ces journées.*

Les deux semaines de données pour les quatre usines en période de faible production (février-mars) mènent à une moyenne de 60 livraisons par jour à analyser pour toutes les usines. Une fois les données compilées, ces dernières ont été analysées afin de mieux comprendre les

caractéristiques du problème de planification. Les sections suivantes présentent ces analyses et permettent de mieux cerner la problématique dans son contexte.

Le premier constat est que ces données existent sous différents formats difficilement comparables et non standardisés d'une usine à l'autre, et proviennent principalement de sources non-numériques. Par exemple, pour fin d'analyse de ces données, les adresses de livraison fournies ont dû être converties en codes postaux. De la même manière, les bons de chargement et de livraison sont sous forme papier ou électronique (format PDF). Ils contiennent notamment les informations suivantes :

- ✓ *L'adresse de livraison*
- ✓ *Les dimensions extérieures de certains produits (exemple : les solives)*
- ✓ *Le nombre de produits (absence du nombre total de produits)*
- ✓ *La fenêtre de temps exigée pour la livraison*
- ✓ *Le camion ainsi que la remorque utilisée lors de la livraison*
- ✓ *L'ordonnancement des livraisons (exemple : route 1, livraison 1)*
- ✓ *Le besoin d'équipement spécifique, s'il y a lieu*
- ✓ *Autres informations non pertinentes au problème étudié (exemple : le mode de facturation)*

Ces documents papiers joints à leurs dessins techniques servent comme seuls intrants au processus de répartition. En cas de besoin informationnel supplémentaire, SAP fournit les informations de quantité totale, soit en pieds linéaires pour des solives et en PMP (pieds-mesure-planche) pour les fermes de toit. Les prochaines sections détaillent les données nécessaires à la formulation des contraintes énumérées au chapitre précédent.

4.2.2 Véhicules et équipements

Tel que mentionné précédemment, les véhicules et équipements de GDTM sont hétérogènes. La liste ci-dessous résume les informations spécifiques aux contraintes et limites associées aux véhicules et équipements :

- ✓ *Les véhicules remorques possèdent des capacités distinctes difficiles à exprimer*

- ✓ *Les remorques possèdent des technologies de déchargement différentes (plateforme sans équipement, remorque rouleau et remorqueur)*
- ✓ *Les véhicules sont munis d'équipements différents afin de monter les produits à différentes hauteurs (étages) (grue de déchargement, grue à flèche articulée)*
- ✓ *Les équipements ont différents niveaux de précision (grue à flèche articulée)*
- ✓ *Les véhicules ont différentes caractéristiques leurs permettant de se spécialiser pour différents types de routes (exemple : petite remorque pour un tronçon de route restreint)*
- ✓ *Les véhicules et équipements sont remplacés et/ou ajoutés au fil du temps*
- ✓ *Les véhicules peuvent présenter des défaillances et être ponctuellement indisponibles (entretien chez un garagiste)*

La liste des véhicules et équipements que le GDTM possède comme intrant au processus de planification du transport est résumée dans les tableaux suivants⁴ :

Tableau 4.1 : Principales caractéristiques des véhicules et équipements de Toiture Mauricienne

Camions/équipement	Quantité		
Semi remorque avec grue de déchargement	4		
Semi remorque avec grue à flèche articulée	2		
Semi remorque sans équipement	1		
Tracteur	2	Remorques/longueur	Quantité
Remorqueur	2	Plateforme 48'	12
Voiturier remorqueur avec flèche articulée	1	Plateforme 28'	1
Camionnette	1	48' 4 essieux	1

Tableau 4.2 : Principales caractéristiques des véhicules et équipements de Chevron Lavallois

Camions/équipement	Remorques/longueur	Quantité
Semi remorque avec grue de déchargement	Plateforme 48'	1
Voiturier remorqueur avec grue de déchargement	Remorque rouleau 42' (60')	1
Voiturier remorqueur avec grue de déchargement	Plateforme 48'	2
Voiturier remorqueur avec grue de déchargement	Plateforme 32'	1
Voiturier remorqueur avec grue de déchargement	Plateforme 42'	1

⁴ Références ponctuelles entre février et mars 2012.

Tableau 4.3 : Principales caractéristiques des véhicules et équipements de Prokit

		Remorques/longueur	Quantité
		Plateforme 27'	1
		Plateforme 32'	1
		Plateforme 39'	1
		Plateforme 41'	1
		Plateforme 48'	1
Camions/équipement	Quantité		
Semi remorque avec grue de déchargement	4		

Tableau 4.4 : Principales caractéristiques des véhicules et équipements de Moisan

Camions/équipement	Remorques/longueur	Quantité
Semi remorque avec grue de déchargement	Plateforme 48'	1
Voiturier remorqueur sans équipement	Plateforme 28'	1

Les informations ci-dessus sont présentées de deux manières différentes, ce qui représentent respectivement les différentes stratégies de transport utilisées actuellement par les quatre usines. En effet, Chevron Lavallois et Moisan utilisent des matrices d'information reliant ses chauffeurs à ses remorques, alors que Toiture Mauricienne et Prokit ne se limitent pas à associer ses camionneurs à ses remorques de manière obligatoire. Le processus utilisé chez Toiture Mauricienne et Prokit offre une plus grande flexibilité puisque plus de solutions s'offrent à elles. Par contre, certains fournisseurs externes utilisés à temps plein ne pourraient pas offrir cette flexibilité et alors les deux stratégies de transport devraient être imbriquées afin d'optimiser le problème de tournées de véhicules et de chargement des remorques.

Bien que le fait de ne pas associer un camion à une remorque apporte une meilleure flexibilité, les remorques échangées, tout comme les camions, devront avoir un lieu d'origine et de destination si nous voulons répartir les véhicules et équipements de manière proportionnelle à la capacité des usines entre les usines et que les camionneurs puissent retourner chez eux en fin de journée. Comme les informations de véhicules et équipements sont des intrants au processus de planification, tout changement les concernant vient modifier les paramètres du processus de planification. Par conséquent, cela implique que l'ajout d'un véhicule devra être intégré aux données par un responsable tel qu'il sera avancé dans le prochain chapitre.

4.2.3 Chargements autorisés

La législation sur les chargements en vigueur au Québec est complexe. Le GDTM possède des permis de classe 1 dont les permissions sont résumées dans le tableau suivant.

Tableau 4.5 : Dimensions maximales autorisées pour les permis de classe 1

		Catégorie générale	Catégorie spécifique
Largeur		4,40 mètres	5 mètres
Hauteur		4,30 mètres	5 mètres
Longueur	une unité, un véhicule routier	17 mètres	40 mètres
	deux unités, un ensemble de deux véhicules routiers	27,50 mètres	40 mètres
	trois unités, un ensemble de trois véhicules routiers	30 mètres	40 mètres
	une grue	21 mètres	40 mètres
Excédent avant	grue et véhicule de déneigement	4 mètres	
	appareil de levage d'un véhicule	4 mètres	
	Autres	2 mètres	
Excédent arrière	bois en longueur	6 mètres	
	Autres	4 mètres	

<http://www.mtq.gouv.qc.ca/portal/page/portal/entreprises/camionnage/permispeciaux/> [consulté le 9 février 2014]

Ces règles génériques n'expriment pas certaines spécificités applicables telles que différentes hauteurs permises des chargements selon différentes hauteurs de camions et d'équipement. Lorsqu'une commande exige de contrevenir à ces normes génériques et spécifiques, l'entreprise doit faire affaire avec un fournisseur externe qui détient des permis différents permettant entre autres des dépassements. Actuellement, les répartiteurs ont chacun leur méthode d'analyse et se fient sur leur expérience passée pour déterminer les chargements. Par exemple, l'expérience d'un répartiteur dans une région donnée le mène à connaître certaines contraintes relatives aux routes comme des endroits où les virages sont très serrés que certains camions ne pourraient pas franchir. Ou encore des ponts dont la hauteur limite le passage de certains camions/chargements. Bien que la hauteur légale des permis du GDTM soit de 4.30 mètres, certains

ponts comme le viaduc du C.P. à Blainville n'a que 4.2 mètres de hauteur⁵. Les répartiteurs se sont aussi données différentes contraintes propres à eux telles que d'imposer une quantité maximale de PMP par type de remorque afin de prendre leur décision de routes de livraison. Ces limites personnalisées ne sont pas toujours suivies puisque l'unité de mesure PMP est un volume de bois et non un volume d'espace. Hors, pour le même nombre de PMP, une commande peut remplir une remorque de manière à utiliser son plein volume ou dépasser largement la capacité de la remorque ou encore la sous-utiliser grandement.

Finalement, comme il a été mentionné à la sous-section 4.2.1, les informations de quantité totale de PMP par commande ne sont pas indiquées sur les bons de livraison utilisés lors des activités de répartition. Cependant, cette information se retrouve dans SAP pour les commandes de fermes de toit. Les solives sont quant à elles comptabilisées en pieds linéaires dans SAP. Ces derniers peuvent être convertis en PMP grâce au facteur empirique de conversion créé et analysé par l'entreprise, soit :

$$1,5 * \text{Nombre de pieds linéaires} = 1 \text{ pied-mesure-planche (PMP)}$$

4.2.4 Capacité de production

Comme il a été mentionné à la sous-section 3.1.2, les capacités actuelles des usines ne sont pas atteintes et ne représentent qu'une borne inférieure de la capacité utilisable de production. Certaines commandes sont simples et nécessitent peu de temps de production alors que d'autres peuvent s'avérer plus complexes. Comme il a déjà été mentionné, les usines du GDTM n'ont pas les mêmes niveaux d'automatisation. Certaines d'entre elles produisent de manière complètement automatisée pour certains produits (solives) alors que d'autres produisent de manière manuelle. L'usine de Trois-Rivières est reconnue pour son avancée technologique en ce qui concerne sa production. Elle produit de manière complètement automatisée des solives en moins de 6 secondes. Les fermes de toit sont, quant à elles, produites avec un niveau minimal de matière jetée grâce à un système intégré de découpes automatiques et leur assemblage se fait sur d'immenses tables avec

⁵ http://www.mtq.gouv.qc.ca/portal/page/portal/entreprises/camionnage/ponts/hauteurs_libres/repertoire_hauteurs_libres [consulté le 24 mars 2014]

positionnement laser intelligent. À l’opposé, l’usine de Québec procède à beaucoup d’activités manuelles de production et d’assemblage.

La capacité de production dépend de plusieurs éléments :

- ✓ *Offres de produits distinctes*
- ✓ *Capacités de production distinctes*
- ✓ *Niveaux d’automatisation différents*
- ✓ *Besoin de production en fonction de la demande*
- ✓ *Utilisation adéquate des ressources humaines par usine*

4.3 Analyse des données SAP

Le logiciel SAP contient beaucoup d’informations historiques qui permettent de mener certaines analyses. Dans la présente problématique, l’information conservée est essentiellement des informations internes telles que les numéros de commandes associés à des numéros de livraison qui sont associés à des camionneurs. Ce ne sont donc pas des données directement exploitables pour analyser les caractéristiques du problème de planification, d’où le besoin de compilation et d’association de données en provenant de plusieurs sources. En effet, bien que les commandes soient rattachées ultimement à des camionneurs, cela n’inclut pas dans certains cas l’information de la remorque utilisée.

Tel que mentionné précédemment, certaines usines associent obligatoirement leur camion à une remorque alors que d’autres non. Il y a donc une perte d’information à ce niveau. De même, les numéros de livraison dans SAP ne sont pas reliés automatiquement à une adresse de livraison mais plutôt à un bon de commande ou de livraison. Encore, les temps de déchargement en chantier ne sont pas liés aux commandes et ne sont traçables que par les informations des GPS. Quant aux dessins techniques, ils sont liés par leur numéro à ceux des commandes, mais les informations nécessaires aux fins d’analyses s’y rattachant ne sont pas comptabilisées sous forme exploitable (exemple : exportation dans un tableau Excel). On parle ici de dimension des produits pour le choix des remorques par exemple. Finalement, les rapports disponibles à partir des modules de SAP exploités chez GDTM ne sont pas pertinents pour les besoins de cette recherche.

4.4 Analyse statistique des données

Le GDTM évolue dans un environnement où 80% des situations sont exceptionnelles, c'est-à-dire que les demandes personnalisées des clients diffèrent les unes des autres, pour 20% de situations régulières (loi de Pareto inversée). Outre les commandes personnalisées pour chaque client, une situation exceptionnelle serait un changement de fenêtre de temps à la dernière minute par l'entrepreneur ou encore un bris de produit en chantier qu'il faut faire produire à nouveau et livrer le plus rapidement possible. Toutes ces situations alourdissent le problème de planification étudié ici. Suite au manque d'information exploitable dans SAP, nous avons collecté et analysé des données sur deux semaines d'échantillonnage, incluant les bons de livraison, les dessins techniques des commandes et les listes de camions, remorques et équipements disponibles. L'analyse de ces données au niveau du chargement des remorques, de la localisation des sites clients et des temps estimés de déchargement, nous a permis de mieux cerner les informations qui ne se trouvent actuellement pas sous forme facile d'accès, voire inexistantes dans l'entreprise. Les sections suivantes présentent ces analyses.

4.4.1 Analyse des chargements par types de remorques

Comme il a été mentionné, les informations historiques utiles à l'analyse des contraintes par remorques ne sont pas conservées à ce jour. Ainsi, afin d'explorer ces données concernant les capacités des remorques, il faut retourner dans les plans techniques pour obtenir le détail des commandes à livrer. En faisant ressortir les longueurs et hauteurs maximales livrées par type de remorques, on peut ainsi obtenir de l'information approximative sur les limites des capacités des remorques. Encore une fois, ce travail est de longue haleine puisqu'un dessin pour une commande peut comporter un seul produit et peut aller jusqu'à plus de 300 produits distincts et donc, 300 dessins techniques différents. À l'aide des données compilées sur les deux semaines d'échantillonnage mentionnées précédemment, il est possible de créer des graphiques par type de remorque dans le but de faire ressortir certaines lignes directrices. Les sections suivantes présentent ces données et les premières limites grossières de capacité.

Premièrement, les données ont été exploitées au niveau des quantités de produits (tous les produits confondus) par voyage pour toutes les remorques que détient GDTM. Les figures suivantes montrent une grande partie des remorques utilisées et sont analysés par la suite.

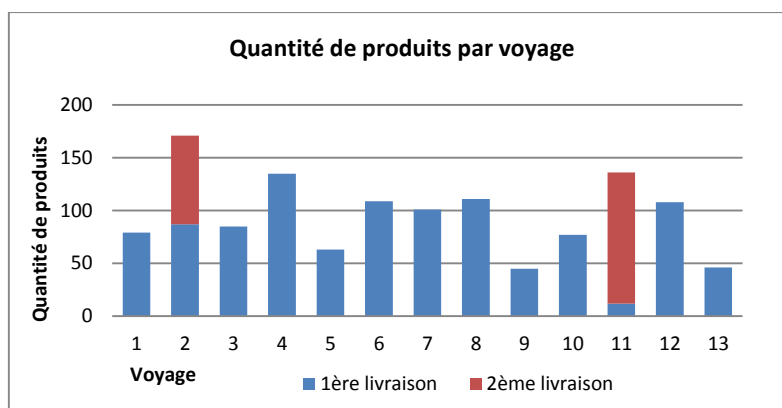


Figure 4.2 : Quantité de produits par voyage pour une remorque de 27 pieds

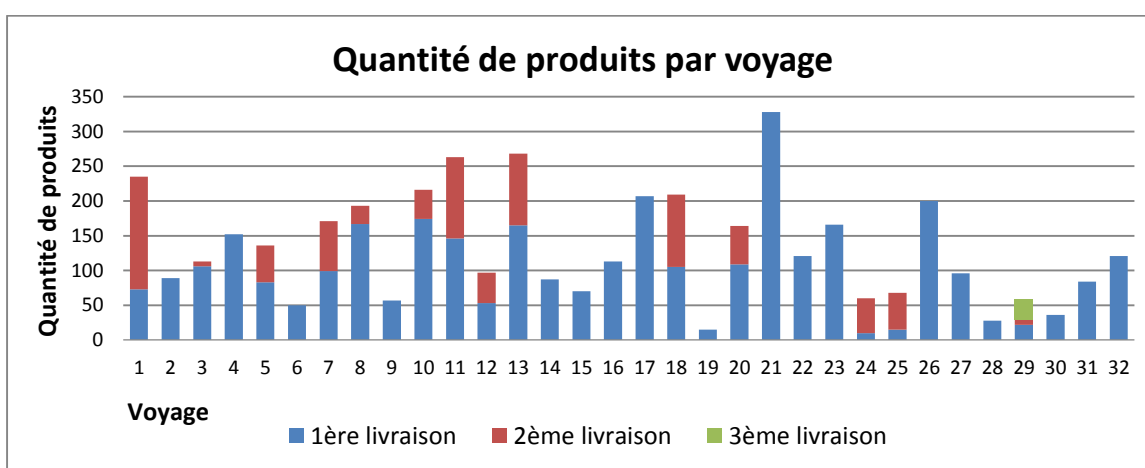


Figure 4.3 : Quantité de produits par voyage pour une remorque de 32 pieds

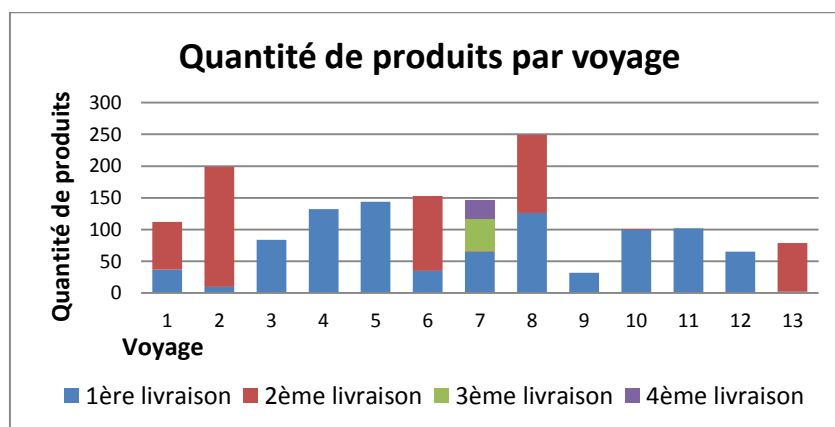


Figure 4.4 : Quantité de produits par voyage pour une remorque de 34 pieds

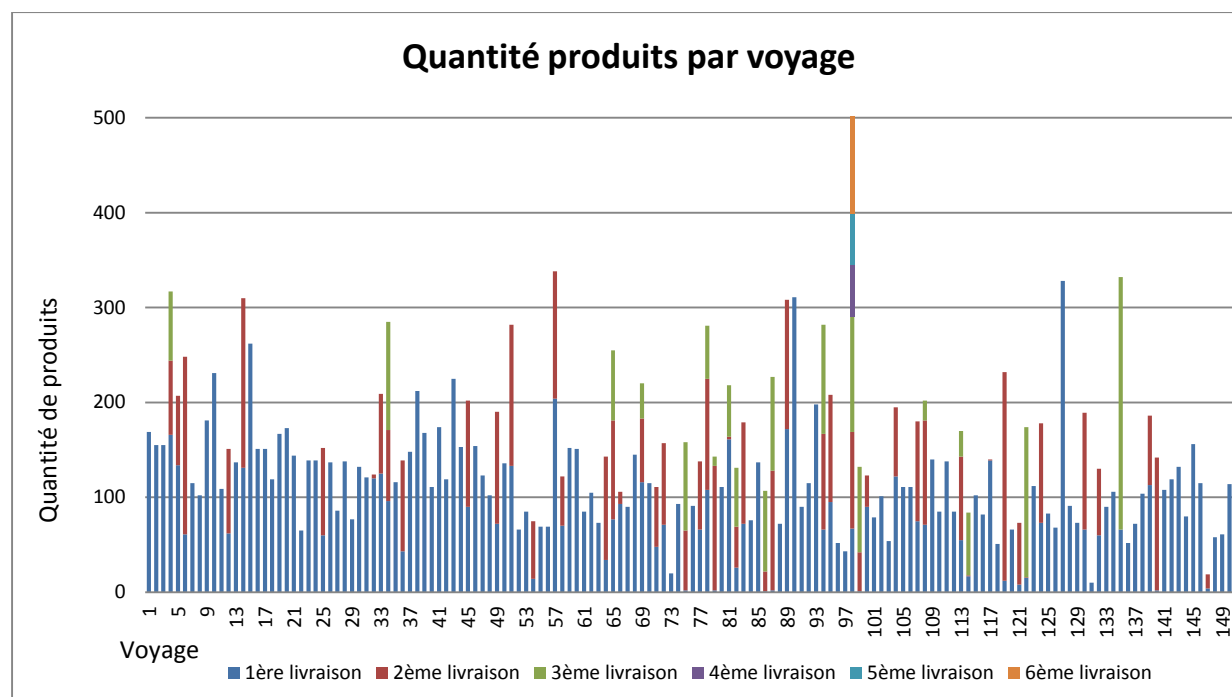


Figure 4.5 : Quantité de produits par voyage pour une remorque de 48 pieds

Les graphiques précédents représentent les informations des quantités de produits des chargements réalisés. Le tableau suivant fait le sommaire comparatif de ces informations entre les différents types de remorques au niveau du nombre moyen de produits, de l'écart-type du nombre de produits, du nombre maximal de produits, du nombre moyen de livraison, du nombre maximal de livraisons effectuées par voyage et du nombre moyen de produits pour un voyage d'une seule livraison, de deux livraisons et de trois livraisons et plus.

Tableau 4.6 : Comparaison des informations entourant les quantités de produits chargés par voyage par type de remorque

Remorque	Nombre moyen de produits	Écart-type du nombre de produits	Nombre maximal de produits	Moyenne de livraison par voyage	Nombre maximum de livraisons	Nombre moyen de produits pour une livraison	Nombre moyen de produits pour deux livraisons	Nombre moyen de produits pour trois livraisons et plus
27 pieds	97	37	171	1,15	2	87	154	N/A
32 pieds	133	78	328	1,47	3	112	169	58
34 pieds	123	58	249	1,69	4	93	149	146
48 pieds	144	74	502	1,49	6	118	178	216

Ainsi, parmi les chargements réalisés, on observe que la remorque de 32 pieds a un nombre moyen de produits de 133 produits par voyage qui est supérieur au nombre moyen de produits de 123 produits pour une remorque de 34 pieds, mais aussi que la remorque de 32 pieds a un écart-type de 78 qui est significativement supérieur à la remorque de 34 pieds avec un écart-type du nombre de produits de 58.

On observe aussi qu'une remorque de 48 pieds possède une moyenne de livraison par voyage de 1,49 qui est moindre qu'une remorque de 34 pieds avec une moyenne de 1,69 livraison par voyage. Par contre, le nombre maximal de livraisons effectuées est de 6 pour une remorque de 48 pieds comparativement à 4 pour celle de 34 pieds. Aussi, bien que la moyenne de livraison d'une remorque de 34 pieds semble supérieure à celle de 48 pieds, le nombre moyen de produits transportés est quant à lui inférieur.

Les informations de quantité de produits n'indiquent pas à elles-seules des informations pertinentes pour évaluer la capacité des remorques puisqu'elles n'impliquent pas d'informations de volume. Donc, en deuxième lieu, les informations de volumes totaux en nombre de PMP par voyage pour ces mêmes remorques ont été analysées. Les figures suivantes présentent ces informations.

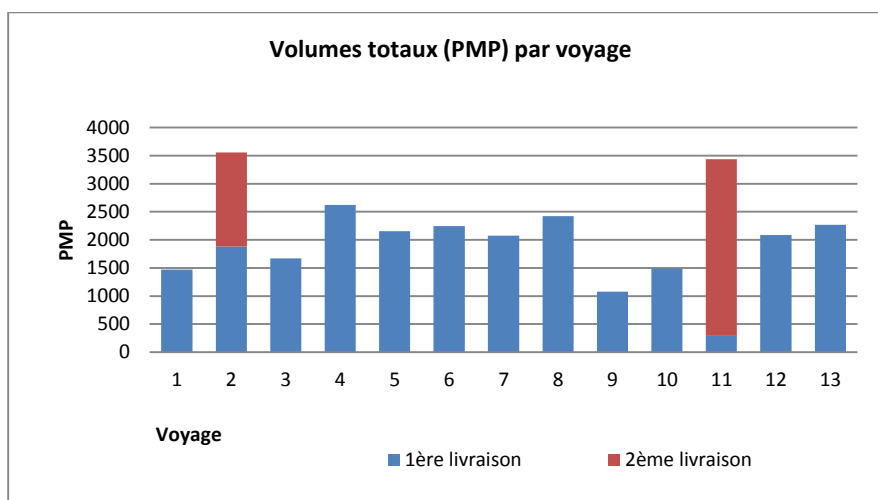


Figure 4.6 : Volumes totaux (PMP) par voyage pour une remorque de 27 pieds

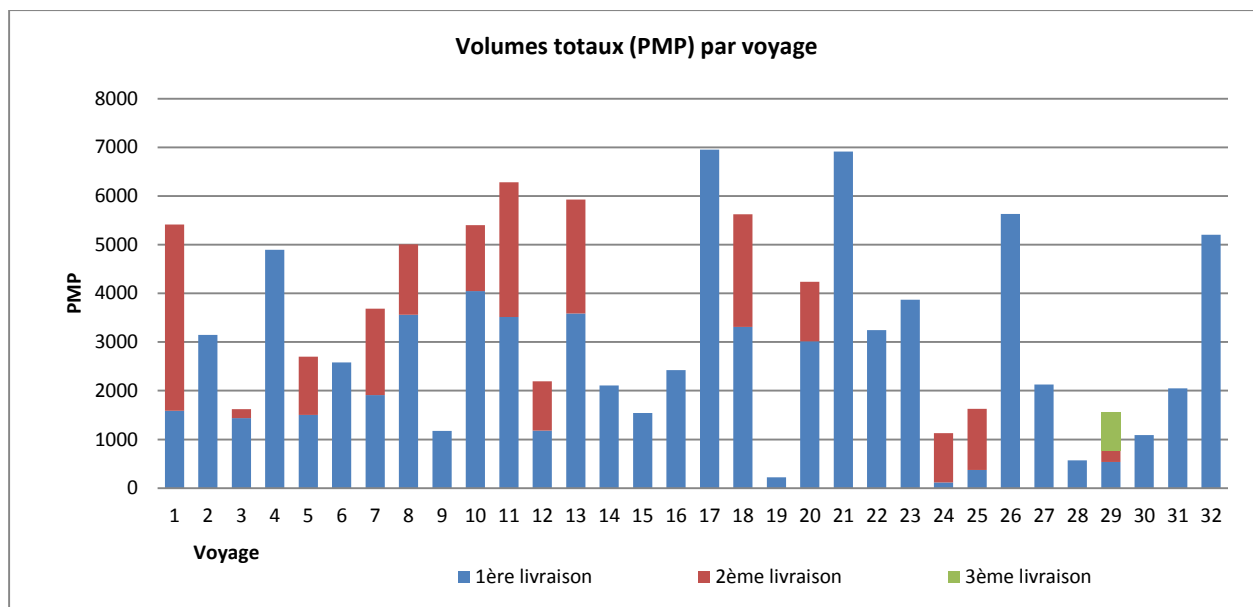


Figure 4.7 : Volumes totaux (PMP) par voyage pour une remorque de 32 pieds

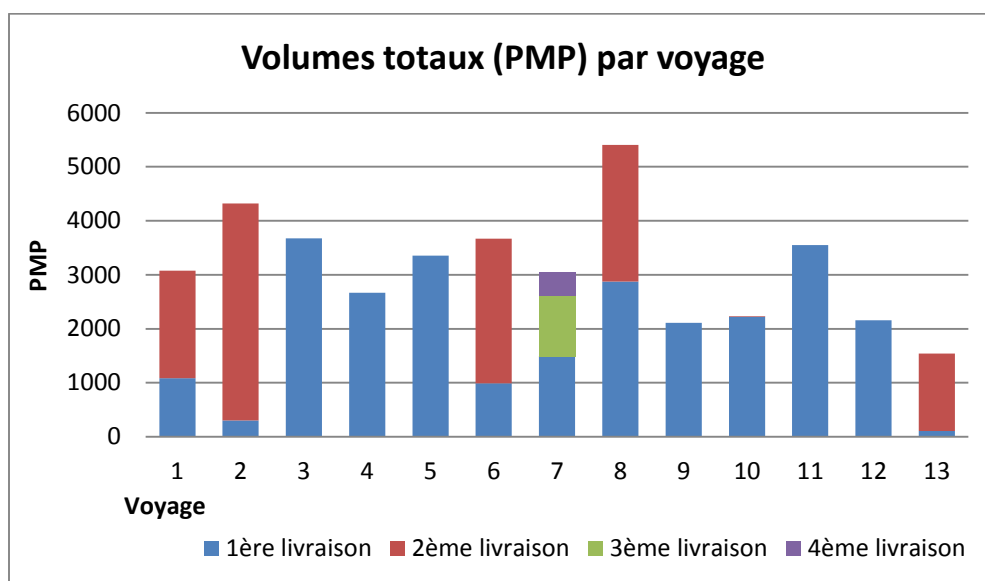


Figure 4.8 : Volumes totaux (PMP) par voyage pour une remorque de 34 pieds

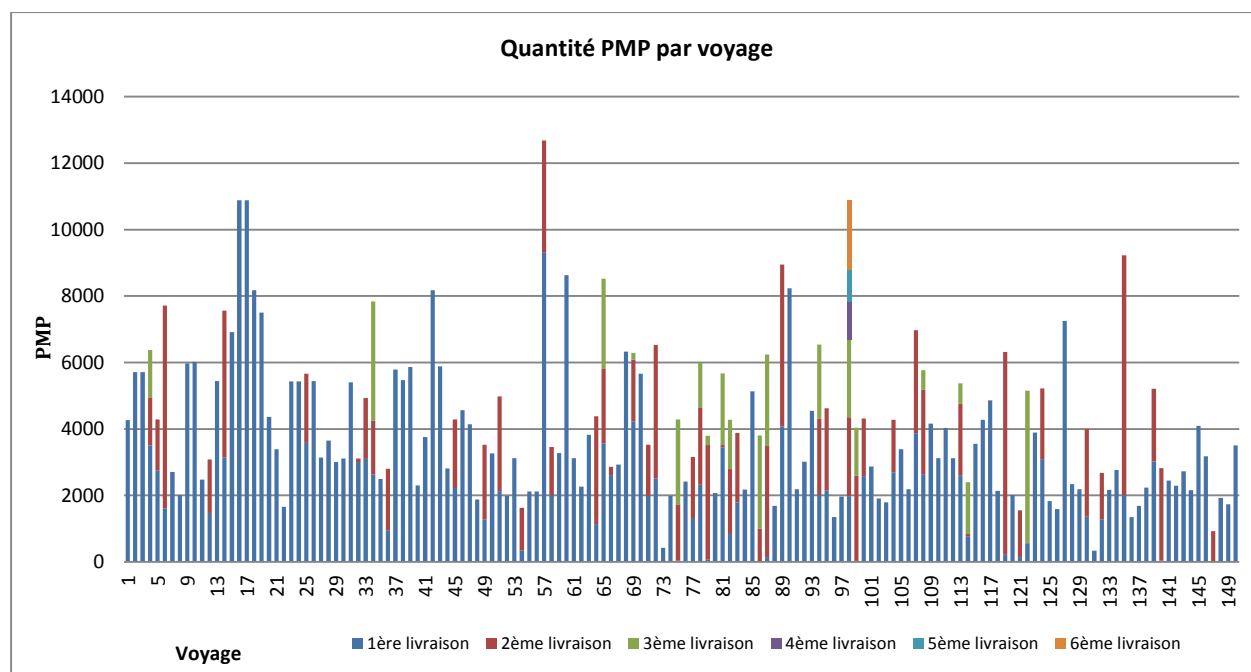


Figure 4.9 : Volumes totaux (PMP) par voyage pour une remorque de 48 pieds

Les figures précédentes représentent les informations de volumes totaux en PMP par voyage. Rappelons que les données de solives sont compilées en pieds linéaires qui ont été convertis empiriquement en PMP. Aussi le PMP est une mesure de volume de bois et non un volume d'espace. Cependant, l'analyse des chargements réalisés en PMP apporte certaines informations relatives au volume qui sont résumées dans le tableau suivant.

Tableau 4.7 : Comparaison des informations entourant les volumes des chargements réalisés par voyage par type de remorque

Remorque	Nombre moyen de PMP	Écart-type du nombre de PMP	Nombre maximal de PMP
27 pieds	2198	720	3558
32 pieds	3380	1985	6951
34 pieds	3140	1039	5406
48 pieds	4195	2262	12680

On observe encore une fois dans ce tableau comparatif que la remorque de 32 pieds a réalisé des voyages ayant un chargement moyen de 3380 PMP, qui est supérieur au chargement moyen d'une remorque de 34 pieds à 3140 PMP. L'écart-type du nombre de PMP total pour une remorque de 32 pieds est significativement plus élevé que celui d'une remorque de 34 pieds et cette différence

est encore plus significative que celle entre les écarts-types du nombre total de produits vu précédemment. Il y a donc une plus grande variabilité des chargements réalisés pour une remorque de 32 pieds que pour une remorque de 34 pieds tant au niveau du nombre de produits qu'au nombre de PMP.

Il est improbable qu'une remorque plus grande ait une capacité de chargement plus petite. Hors, les chargements analysés ne représentent qu'un échantillon de deux semaines de livraisons et il est évident que les données sont manquantes pour pouvoir estimer les limites des capacités des remorques. Les figures suivantes décrivent la relation entre les variables de quantité de produits et de volume de PMP.

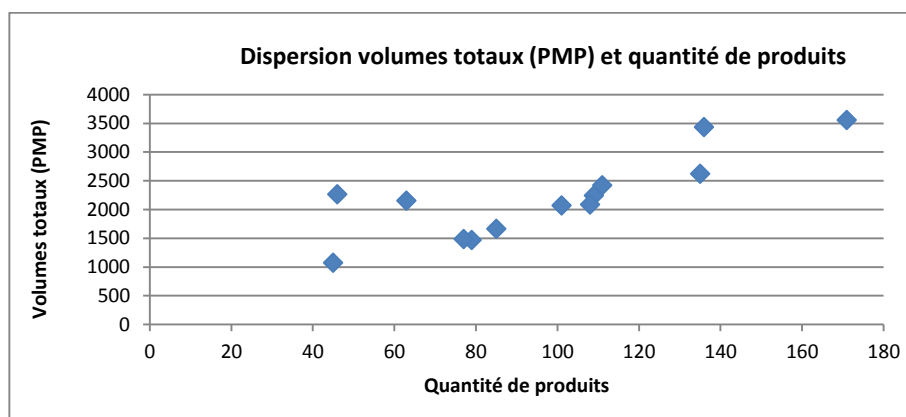


Figure 4.10 : Dispersion volumes totaux (PMP) et quantité de produits représentant les chargements d'une remorque de 27 pieds

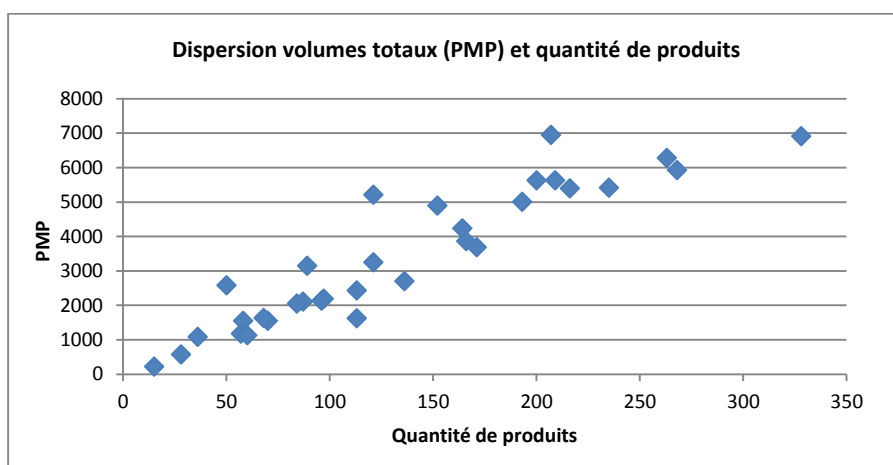


Figure 4.11 : Dispersion volumes totaux (PMP) et quantité de produits représentant les chargements d'une remorque de 32 pieds

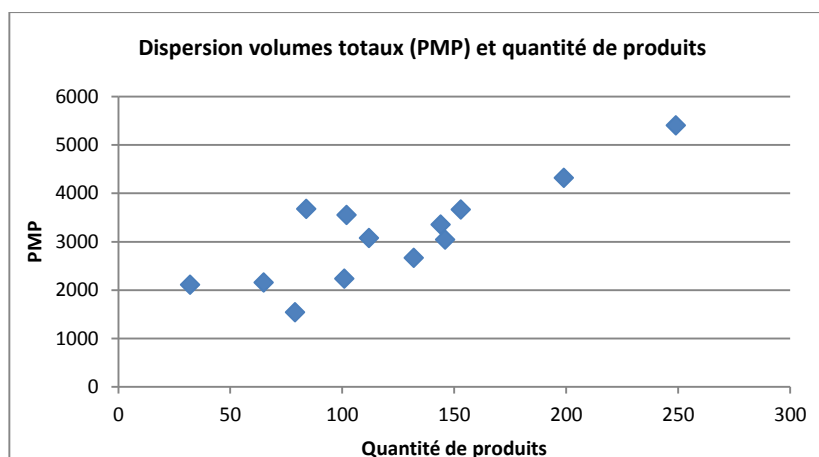


Figure 4.12 : Dispersion volumes totaux (PMP) et quantité de produits représentant les chargements d'une remorque de 34 pieds

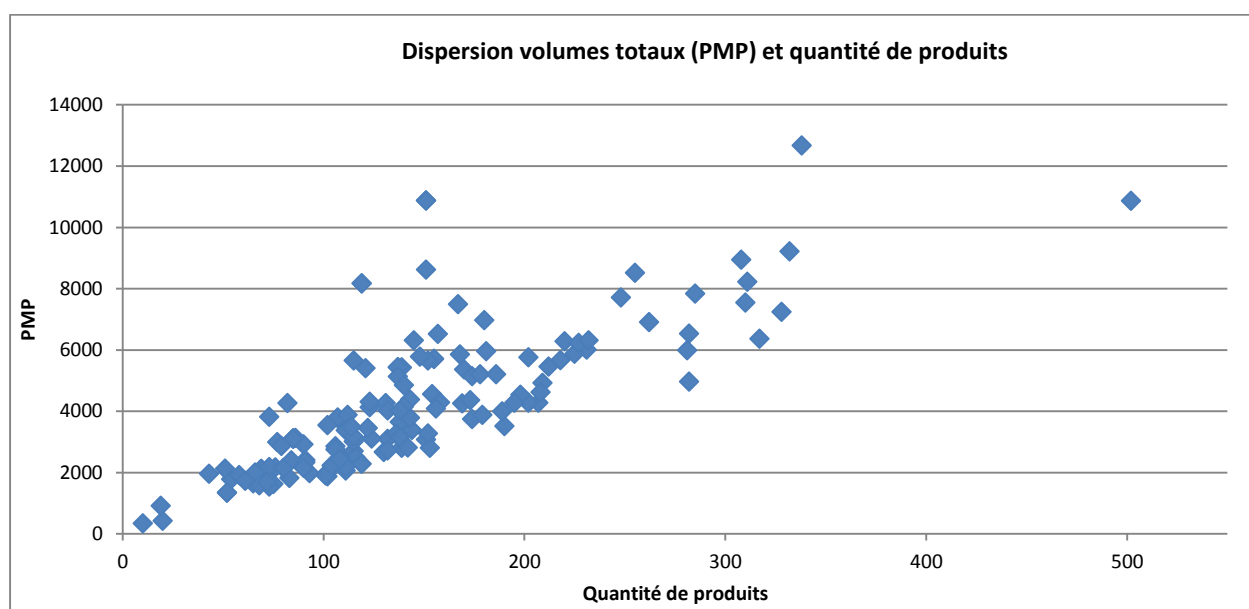


Figure 4.13 : Dispersion volumes totaux (PMP) et quantité de produits représentant les chargements d'une remorque de 48 pieds

Les graphiques de dispersion ci-haut montrent la corrélation entre ces variables de quantité et de volume. Donc, non seulement certains chargements réalisés sont marginaux de par leur quantité ou volume de produits qui sous-utilisent la capacité des remorques, mais encore, certains points éloignés de la majorité des autres montrent bien que la quantité de produits et le volume de PMP ne sont pas toujours corrélés. Par exemple, la figure 4.13 montre pour un même nombre de

produits choisi (entre 145 et 155 produits), le nombre de PMP varie entre 2814 et 10881. Le tableau suivant exprime les coefficients de corrélation pour chacune des remorques précédentes.

Tableau 4.8 : Comparaison des coefficients de corrélation entre les variables de quantité de produits et de volume de PMP par type de remorque

Remorque	Coefficient de corrélation	Nombre de corrélation
27 pieds	0,81	13
32 pieds	0,93	32
34 pieds	0,84	13
48 pieds	0,78	150

D'un point de vue statistique, les données montrent une corrélation positive forte malgré que nous ayons vu dans les graphiques précédents qu'il y a plusieurs dispersions marginales. On observe aussi que pour un même nombre de points de corrélation, le coefficient de corrélation de la remorque de 27 pieds est moins fort que celui de la remorque de 34 pieds. Aussi, bien qu'on pourrait penser qu'une plus grande quantité de corrélations tendrait vers une relation plus corrélée, la remorque de 48 pieds ayant le nombre de corrélations le plus élevé a aussi le coefficient de corrélation le plus faible.

Ensuite, nous nous sommes intéressés à la quantité de PMP par type de produit par voyage pour une remorque de 48 pieds. Cette remorque ayant un nombre significatif de chargements réalisés et analysés permettant ainsi de catégoriser les chargements par type de produit et mélange de type de produit. La figure suivant montre cette relation.

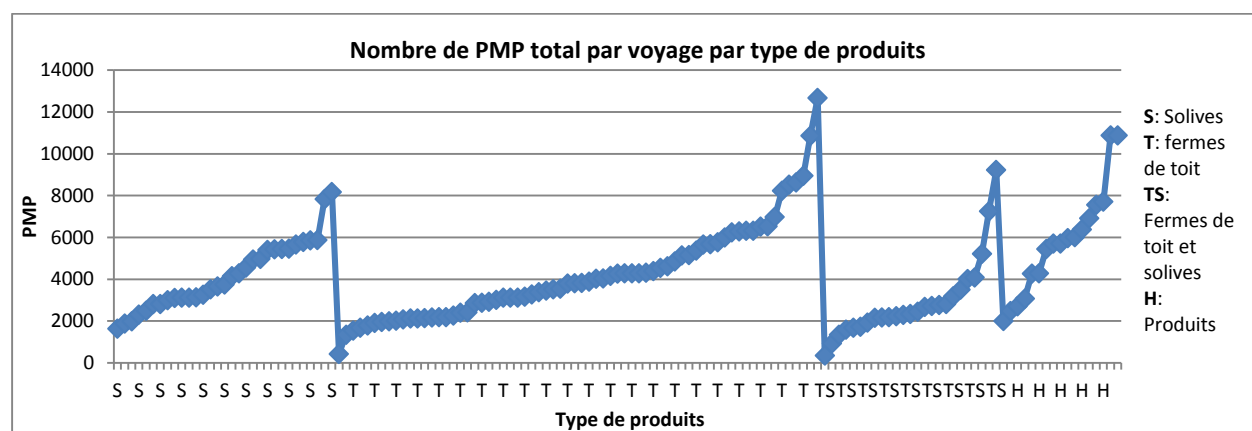


Figure 4.14 : Volumes totaux (PMP) par voyage et par type de produits pour une remorque de 48 pieds

L'analyse de cette figure mène à comparer les volumes de PMP ayant été chargés sur une remorque de 48 pieds par type de produits. Les différents types de produits et les données associées sont résumés dans le tableau suivant.

Tableau 4.9 : Comparaison du volume de PMP par type de produit par voyage pour une remorque de 48 pieds

Type de produit	Solives	Fermes de toit	Fermes de toit et solives	Produits préassemblés
Nombre moyen de PMP	4177	4223	2913	5765
Écart-type du nombre de PMP	1652	2316	1922	2588
Max de PMP	8175	12680	9222	10881
Nombre de voyage	31	69	25	17

Le tableau ci-haut montre un nombre moyen de PMP similaire entre les types de produits solives et fermes de toit d'environ 4200 PMP. Alors que les produits préassemblés ont une moyenne de PMP bien supérieure avec 5765 PMP. On observe aussi que les mélanges de fermes de toit et de solives ont un chargement moyen de 2913 PMP, ce qui est significativement plus petit que les chargements dont les types de produits ne sont pas mélangés.

Cet échantillonnage ne représente pas la capacité d'une remorque mais les chargements réalisés permettant d'orienter la planification. Cependant, il y a un besoin de compilation de données sur une plus grande période de temps dans le but de préciser l'analyse. Ce début d'analyse statistique montre les possibilités d'exploitation des informations dans le but de mieux définir les contraintes de capacité de chargement.

4.4.2 Matrice origines destinations

Afin de générer des matrices origines destinations (OD) de manière efficace dans le cadre du développement d'un outil d'aide à la planification, il faut que l'information soit standardisée, par exemple des codes postaux, des longitudes et latitudes, ou encore des adresses complètes. Lors de nos recherches, l'exercice de travailler sur deux semaines de données de livraison nous a incités à pousser un peu plus loin cette notion de matrices OD afin de bien cerner l'enjeu qu'elles engendrent. En effet, le contexte des chantiers de construction complexifie cette notion, puisque les données de localisation des livraisons sont offertes sous différentes formes. De plus, certaines

demandes sont associées à des lieux géographiques qui ne sont pas encore définis par la plupart des sites de calculs intelligents de distances comme Google Map et Map Point. En effet, certaines adresses existent dans certaines bases de données (par exemple celle de Poste Canada) alors que la même adresse est introuvable dans Google Map. Nous conseillons donc l'utilisation standardisée de codes postaux pour éradiquer le problème d'adresse introuvable de plus que l'utilisation du site de Poste Canada afin de trouver l'ensemble des codes postaux reliés aux adresses de livraison.

Aussi, toujours afin de bien cerner l'ampleur d'une telle tâche qui sera requise lors d'une nouvelle planification de la production, nous avons fabriqué une telle matrice OD pour une journée donnée comprenant toutes les destinations des quatre usines étudiées. Ce travail nous a menés à la conclusion qu'il y a également un besoin d'automatiser la génération de ces matrices à l'aide d'un logiciel de calcul des distances comme Map Point et Google Map, ce qui éviterait des heures quotidiennes de création de matrices OD dont la charge manuelle de travail ne pourrait être considérée due à sa lourdeur. Nous proposons donc d'utiliser les codes postaux comme destination de la demande puisqu'ils sont préalablement définis dans les logiciels de calcul des distances. Ainsi, ayant l'ensemble des codes postaux qui doivent être visités pour une journée donnée, il est possible d'utiliser Google par exemple, pour générer les matrices OD automatiquement à partir d'une liste standardisée de codes postaux. Il est donc à la fois important que les données soient standardisées et qu'un modèle mathématique propre à la création de matrices OD soit conçu et intégré au problème de tournées de livraison et du chargement.

4.4.3 Analyse des temps de déchargement

En ce qui concerne le temps de déchargement, ce dernier est un des aspects du problème de planification les plus difficiles à estimer.

Les facteurs aléatoires de leur réalité (durée des déplacements, accident sur la route, condition de déchargement, sol sablonneux, enlèvement des camions, etc.) complexifient en effet leur évaluation quantitative.

Cependant, bien que plusieurs aspects peuvent sembler aléatoires actuellement, et donc difficilement prévisibles, il est possible d'allouer des temps moyens, plus ou moins réalistes à plusieurs situations génériques si elles étaient compilées, comparées et analysées. Par exemple, la prise chronométrée du temps de déchargement d'un dépôt par terre sur diverses plages horaires de

livraison, permettrait d'en déterminer un temps moyen utilisable. Ou encore, lorsque deux chantiers côte à côte (par le fait même, ayant le même code postal) ont une demande durant la même fenêtre de temps, le déchargement devrait considérer une même adresse avec un temps supplémentaire discrétionnaire standard, qui pourrait être de 5 minutes par exemple. Alors que deux chantiers ayant le même code postal, mais qui ne sont pas côte à côte (par exemple, les plus petites villes qui n'ont qu'un seul code postal, comme St-Élie de Caxton (G0X 2N0)), devraient se voir attribuer un temps de déchargement, plus un temps standard de déplacement moyen combinant à la fois les grandeurs géographiques des villes concernées et la densité de la circulation dans ces dernières. Ces deux derniers points permettent d'estimer des distances entre deux sites d'une même région.

Bien qu'il soit possible d'estimer une majorité des temps de déchargement, ici encore quelques aléas, tels que la densité du sol, viennent biaiser les estimés. Il n'est pas rare non plus que certains chantiers en construction soient difficiles d'accès. Selon les informations recueillies à l'interne, le secteur des Hautes Laurentides possède fréquemment cette caractéristique qui exige des camions remorques plus flexibles pour ce genre de tronçons, souvent de plus petites tailles. Hors, cette situation implique qu'une grande commande pour cette région soit livrée par deux camions de plus petites tailles plutôt qu'un de plus grande taille. Dans ce dernier cas, les temps de déchargement estimés devront être répartis entre deux camions remorques en fonction des chargements des camions. Le déchargement d'une même commande par un seul camion remorque requiert un temps moindre que le déchargement de cette même commande par deux camions remorques puisqu'un seul camion remorque ne peut décharger à la fois pour se coordonner avec les employés de chantiers. Il ne serait pas non plus sécuritaire d'agir autrement et de permettre à deux grues de fonctionner sur un même chantier. Ainsi, un premier camion doit premièrement se positionner à l'endroit du déchargement, pour ensuite mettre en marche l'équipement relié à son camion (par exemple, une grue). Puis, le camionneur doit monter physiquement sur le chargement pour retirer les courroies de transport qui maintiennent non seulement le chargement total de la remorque mais aussi plusieurs sous-assemblés de la commande (en plus petits paquets), pour finalement commencer son déchargement. Une fois cela terminé, ce camion doit se retirer du chantier pour laisser place à un deuxième camion qui devra exécuter les mêmes activités.

Les facteurs humains peuvent eux aussi s'ajouter à cette liste de facteurs complexifiant. En effet, l'expérience des camionneurs les amène à être en mesure de distinguer certains clients avec qui la communication en chantier s'avère souvent problématique et ralentit les activités de

déchargement. Par exemple, un entrepreneur dont l'équipe de travail est nouvelle et non expérimentée pourrait prendre davantage de temps lors du déchargement.

Outre les facteurs complexifiant précédemment exprimés, il est également possible d'associer des quantités et des types de produits à des catégories standard de temps de déchargement et ce avec et sans le besoin d'ériger les produits. Il a déjà été mentionné qu'il existe trois types génériques de produits : les solives, les fermes de toits et les produits préassemblés (par exemple des chevrons et des murs). Lors des activités de répartition auxquelles nous avons participées, aucun temps moyen de déchargement n'était établi et encore une fois, cette notion de temps de déchargement est soumise à l'expérience tacite des employés en place. Les temps de déchargement sont donc intuitifs.

Les informations papier récoltées sur deux semaines de livraison comprennent l'ordonnancement des tournées de véhicules mais pas leur temps de déchargement et de déplacement. Par exemple, les routes n'indiquent pas les moments où les camionneurs s'arrêtent diner. Ou encore, elles n'indiquent pas si le délai entre deux livraisons est attribuable au déchargement ou au déplacement. Or, ces relations n'ont pas pu être établies avec les informations actuelles disponibles et une collecte rigoureuse de ces temps devra être complétée afin de faire ressortir quelques lignes directrices concernant le chargement des remorques et les temps de déchargement en chantier. En effet, le chargement des remorques doit être mis en relation avec les temps de déchargement puisque le chargement d'une remorque peut représenter, par exemple, la moitié de sa capacité.

4.5 Synthèse de l'analyse des informations

Pour conclure cette section d'analyse d'information, synthétisons quelques points importants propres à la réalité du GDTM :

- ✓ *Beaucoup de situations irrégulières (gestion d'exceptions)*
- ✓ *Facteurs complexifiant nombreux (commandes personnalisées, changement de fenêtre de temps, aléas de la température, bris de produit en chantier, mauvaise coordination des employés de chantier, densité du sol, chemin contraignant, problèmes de machinerie possible et problèmes de communication en chantier)*

- ✓ *Définition complexe des chargements par type de remorques (en fonction des types de produits, des dimensions des produits, des dépassements autorisés, du transport hors-normes)*
- ✓ *Création difficile des matrices OD (manque d'information standardisée (codes postaux) et besoin d'un modèle mathématique pour générer automatiquement les matrices)*
- ✓ *Temps de déchargement difficiles à établir (beaucoup de facteurs complexifiant et manque d'information comptabilisé à l'interne)*
- ✓ *Besoin d'information dans un format exploitable aux fins d'analyses actuellement manquantes (quantités, dimensions et types de produits livrés par remorques, temps de déplacement et temps de déchargement non chronométrés et non définis)*

Le prochain chapitre identifie des opportunités d'améliorations tant au niveau du processus de planification et des besoins en informations, en plus de proposer une stratégie pour le développement d'un outil d'aide à la planification et d'exprimer les barrières à sa mise en œuvre.

CHAPITRE 5 OPPORTUNITÉS D'AMÉLIORATION ET STRATÉGIE DE SOLUTION

Ce dernier chapitre identifie des opportunités d'amélioration du processus actuel de planification, en cherchant notamment à combiner les problèmes de gestion de capacité des usines (allocation des ordres de fabrication aux usines), de tournées de véhicules et de chargement des camions du GDTM. Un nouveau processus de planification est ainsi proposé dans la section 5.1, ainsi qu'un ensemble de propositions concernant la gestion de l'information nécessaire à la mise en œuvre de ce nouveau processus de planification dans la section 5.2. Enfin, afin de supporter cette mise en œuvre du nouveau processus de planification, ce mémoire propose à la section 5.3 une stratégie pour le développement d'un outil d'aide à la planification des opérations et de la logistique dans le contexte de l'entreprise GDTM. Finalement, la section 5.4 analyse les barrières organisationnelles et informationnelles à la mise en œuvre du nouveau processus de planification et de son outil d'aide à la décision.

5.1 Nouveau processus de planification

Actuellement, le processus de confection des tournées de véhicules se fait de manière hiérarchique, c'est-à-dire à la suite de l'allocation des bons de fabrication aux usines. Ce processus décisionnel limite l'efficacité des routes de livraison, puisqu'il diminue notamment les opportunités de retour en charge entre les différentes usines du GDTM, comme il a été vu au chapitre 3. Ainsi, l'idée principale proposée dans ce mémoire est de centraliser l'ensemble des activités de planification de l'allocation des ordres de fabrication aux usines, des routes de livraison et de chargement, à travers l'ensemble des unités de production du GDTM. Le nouveau processus de planification devient alors plus complexe à mettre en œuvre. De plus, comme il a été détaillé aux chapitres 3 et 4, une bonne connaissance de l'environnement de l'entreprise, et des contraintes de chargement et de transport en particulier, est requise afin de proposer des plans et des routes faisables et efficaces. De plus, comme il a été présenté au chapitre 4, les informations actuellement disponibles ne peuvent à elles seules servir d'intrants au nouveau processus de planification puisque plusieurs informations décisionnelles sont manquantes. La figure 5.1 présente le nouveau processus de planification proposé.

Ce nouveau processus montre plusieurs modifications par rapport au processus actuel détaillé à la sous-section 3.2.1. Premièrement, lors de l'entrée d'une commande dans SAP par un commis de bureau, cette commande ne serait dorénavant plus associée à l'usine qui dessert la région où la livraison doit être faite. La décision d'allocation des commandes aux usines est repoussée plus loin dans le processus lors d'une première activité de répartition. Comme le processus actuel, selon le type de produits de la commande, il y a un besoin ou non de passer par la portion du département technique. Une fois les dessins des périmètres de produits complétés, une première activité de préparation à la planification en usine est effectuée. C'est à cette étape de saisie des données que les besoins en information et en standardisation s'insèrent. Ces besoins sont détaillés à la section suivante. À l'aide de ces informations, une première et nouvelle activité d'allocation des commandes aux usines peut donc avoir lieu. Les activités d'allocation actuelles se font à la fin de la journée ouvrable avant la date de livraison. Ainsi, si cette activité était située deux jours plus tôt, soit après celle du dessin du périmètre des produits et d'une première préparation à la planification en usine telle qu'elle est présentée à la figure 5.1, elle permettrait d'allouer la production en fonction de routes de livraison efficaces.

Ensuite, comme le processus actuel, la commande a un besoin ou non de dessins d'ingénierie (structure intérieure des produits). Ici, une deuxième activité de préparation à la planification est nécessaire puisque de nouvelles informations de structures des produits doivent être saisies dans SAP. Ce nouveau processus propose donc de séparer la préparation de la planification en usine par les commis de bureaux en deux activités distinctes (une pour chaque dessin technique). La suite du processus est similaire au processus actuel de GDTM. Par exemple, en cas d'ajustements entre les décisions prises et la livraison (une nouvelle commande ou un changement de date de livraison), une deuxième activité de répartition pourra avoir lieu. Ces changements de dernières minutes seront ainsi traités, tel qu'actuellement, comme des exceptions à insérer aux décisions de transport.

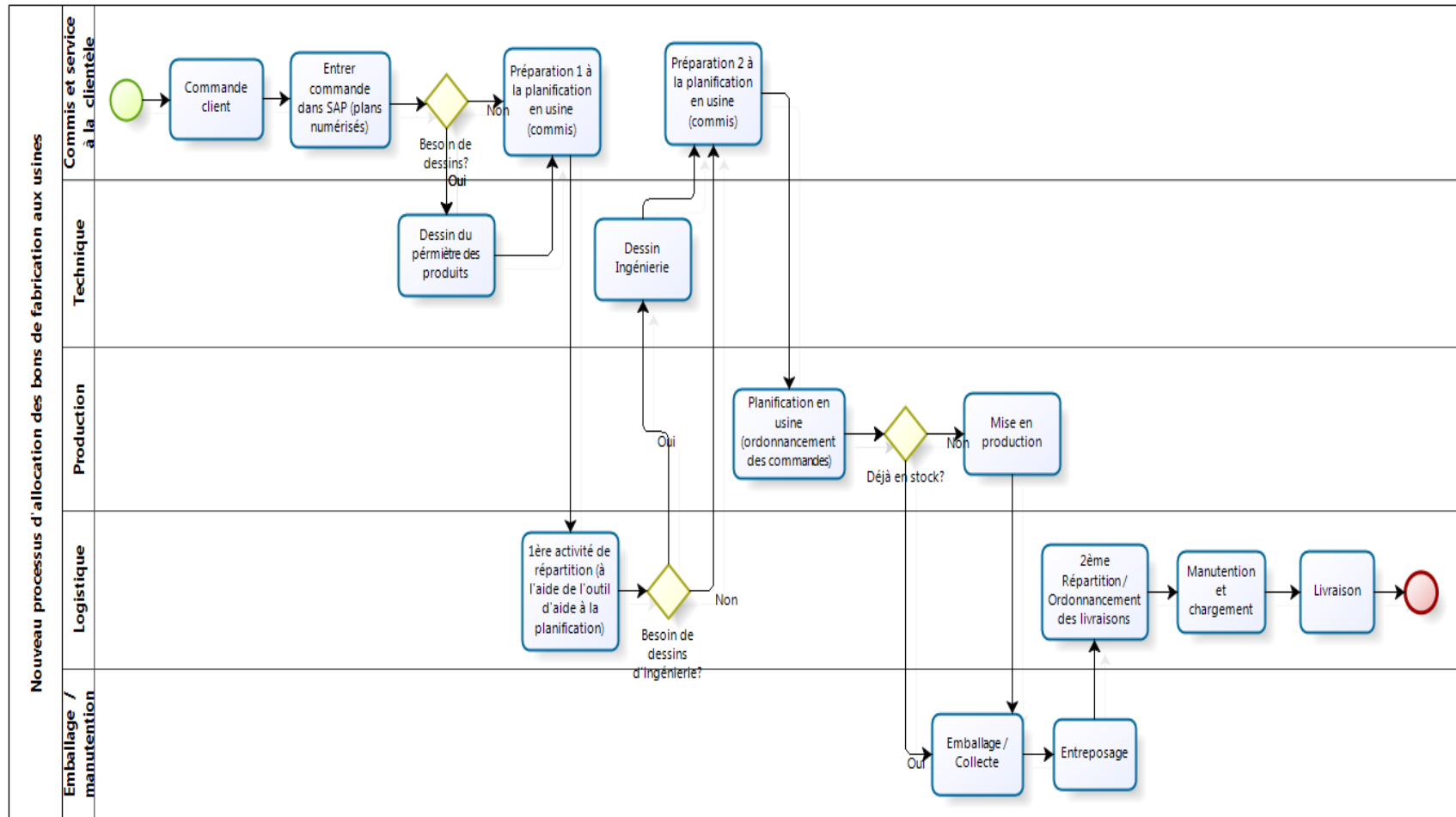


Figure 5.1 : Nouveau processus de planification

5.2 Réingénierie du processus de gestion des informations

Le besoin en information nécessaire à la mise en œuvre du processus de planification proposé à la section 5.1 implique de faire certains ajustements au système en place de gestion des informations. Cela implique notamment de standardiser un ensemble d'informations à travers l'entreprise, ce qui n'est actuellement pas le cas. Les commis de bureau qui sont responsables d'entrer les données dans SAP devraient ainsi avoir de nouvelles directives afin d'entrer les données de manière standardisée. En effet, un certain nombre d'informations ne sont pas disponibles, comme les codes postaux des destinations géographiques des sites de livraison, et le nombre de produits total à livrer est quant à lui actuellement absent.

En ce qui concerne la quantité de PMP pour les fermes de toits et la quantité de pieds linéaires pour les solives, ces informations sont déjà dans SAP. Cependant, les données sont disponibles sous deux unités de mesure différentes qui devraient ainsi être converties en une unité de mesure unique, soit le PMP en utilisant le facteur de conversion de la section 4.2.3.

L'information du numéro de remorque utilisée, quant à elle, n'est actuellement pas disponible. Cependant, cette information pourrait être facilement compilée lors des activités de répartition des livraisons qui pourraient ensuite être entrée dans SAP par un commis de bureau. Chaque numéro de remorque serait alors associé à des dimensions (standard et hors-norme) et des équipements de levage particulier.

En ce qui concerne les temps de déchargement, la seule manière actuelle de déterminer les temps de déchargement en chantier se trouve dans les bons de livraison fournis. Comme tous les bons de livraison sont associés à des fenêtres de temps, il est possible d'évaluer approximativement les temps de déplacements, et ainsi déduire les temps de déchargement. Cependant, il est impossible de connaître certaines informations comme l'heure du diner, ou s'il y a eu des contingences sur la route comme des ralentissements, des travaux ou des accidents. Les temps de déchargement, les heures des repas et les contingences sur la route pourraient donc simplement être compilés par les camionneurs qui les inscriraient sur leurs bons de livraisons, comme l'heure de début et de fin du déchargement en chantier. Cela nécessite donc un nouveau format de bon de livraison pour compiler toutes ces informations de façon systématique.

Finalement, les informations de hauteur et de longueur maximales des produits ne sont actuellement disponibles que sur les dessins techniques des produits (un dessin par produit). Les techniciens responsables de ces dessins pourraient entrer ces informations dans SAP afin de les rendre disponibles au processus de planification. Plus spécifiquement, pour chaque commande, nous proposons que les informations suivantes soient collectées, compilées et rendues disponibles dans SAP

- ✓ *L'usine qui produira la commande (extrait du processus de planification)*
- ✓ *Le(s) type(s) de produit(s) demandé(s) (données techniques)*
- ✓ *Le nombre de produits (données techniques)*
- ✓ *Les dimensions maximales (hauteur et largeur) des produits les plus longs (données techniques)*
- ✓ *Les routes de livraison par camion ainsi que la remorque choisie (extrait du processus de planification)*
- ✓ *Le nombre de PMP totaux de la remorque pour chaque chargement (données techniques)*
- ✓ *Les temps de déplacements et de déchargements alloués (bons de livraison)*
- ✓ *Les numéros de commandes et de dessins associés (données SAP)*
- ✓ *Autres spécificités possibles (données techniques)*

Finalement, en compilant toutes ces informations dans SAP, il serait ainsi plus facile de les analyser, de compiler des statistiques et de créer des règles de décisions fiables qui seraient disponibles à la planification de l'ensemble des opérations de l'entreprise. En effet, il n'existe actuellement pas de support informatique ni pour obtenir et analyser facilement les informations, ni pour prendre des décisions. De plus, comme nous l'avons appris par la pratique en entreprise, il est important d'indiquer la date d'entrée de l'information pour pouvoir clairement identifier les exceptions, c'est-à-dire les ajouts de dernière minute.

Le tableau 5.1 présente une synthèse des informations à collecter, traiter, analyser et archiver dans SAP.

Tableau 5.1 : Synthèse des informations à collecter pour la mise en œuvre du nouveau processus de planification

Informations	Sources	Processus de collecte
Temps de déchargement	Camionneurs	Inscrire les informations de début et de fin de déchargement sur le bon de livraison
Conditions de déchargement	Camionneurs	Inscrire les informations des conditions de déchargement sur le bon de livraison
Conditions de transport	Camionneurs	Inscrire les informations des contingences de transport sur le bon de livraison
Temps de transport	Camionneurs	Inscrire les informations de début et de fin du transport sur le bon de livraison
Date d'entrée de la commande	Commis de bureau	Saisir la date de l'entrée de la commande dans SAP
Code postal de la situation géographique de la livraison	Commis de bureau	Saisir le code postal de la situation géographique de la livraison dans SAP
Quantité de produits	Commis de bureau	Saisir la donnée du nombre total de produits dans SAP
Type(s) de produit(s) demandé(s)	Commis de bureau	Saisir la donnée du type de produit dans SAP
Dimensions maximales de la commande	Techniciens en dessin	Inscrire la longueur et la hauteur maximale des produits d'une commande dans SAP
Quantité totale de PMP	SAP	Conversion des données PMP et PL en PMP dans SAP
Numéro de remorque et de camion utilisé	Répartiteur	Inscrire le numéro de remorque et le camion utilisé sur le bon de livraison

5.3 Stratégie de développement d'un outil d'aide à la planification

La réalisation conjointe des processus d'allocation des ordres de fabrication aux usines, de confection des routes de livraison et de chargement des remorques, telle que proposée à la section 5.1 de ce chapitre complexifie grandement la planification. Le chapitre 3 a notamment présenté la richesse du processus de confection des routes dans un contexte où les allocations des ordres de fabrication aux usines sont déjà réalisées. De plus, un des constats fait au chapitre 4 est qu'il est actuellement impossible de définir avec précision certaines contraintes du problème de planification telle que la capacité des remorques. En effet, en plus du manque d'informations statistiques sur les volumes transportés sur chaque type de remorque, cette capacité est directement fonction du mélange de produits et de leurs configurations volumétriques. De plus, un autre constat réalisé concerne le haut taux d'exceptions (par exemple, dimension de produits non-standard, conditions de déchargement particulières, accident survenu à un carrefour) auquel GDTM est soumise.

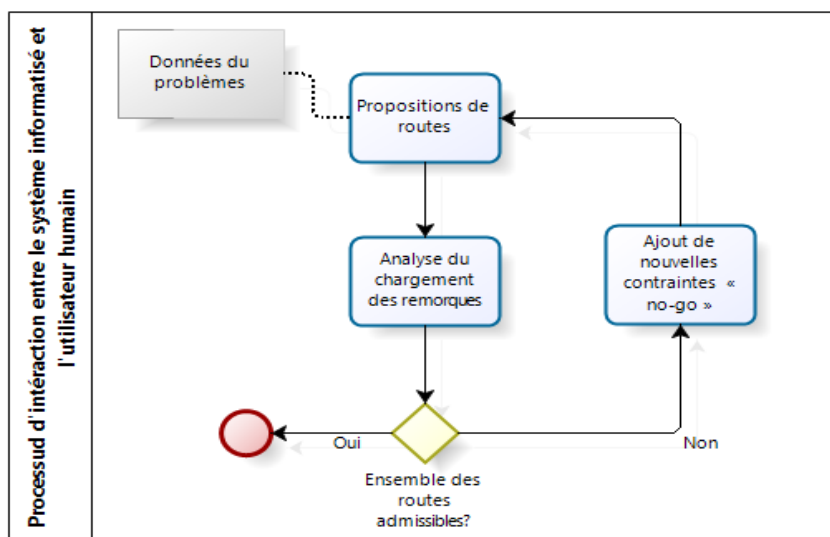
La conséquence directe de cette richesse du problème de planification des routes est sa forte dépendance à l'expertise et l'expérience des répartiteurs. Ainsi, la stratégie principale de développement d'un outil d'aide à la décision proposée dans ce mémoire est celle d'un système de planification hybride combinant l'expertise humaine, responsable de la mise en œuvre des connaissances tacites des répartiteurs, à un outil informatique d'aide à la planification, responsable du traitement des données standards du problème de planification. La prochaine section présente un principe d'interaction entre les composantes humaine et technologique de cette stratégie. La section suivante, quant à elle, présente une approche d'apprentissage permettant de capitaliser sur la mise en œuvre des connaissances tacites du répartiteur afin de pouvoir les répliquer de façon automatique, au moins partiellement.

5.3.1 Principe d'interaction homme-ordinateur

Une des caractéristiques du problème de planification décrit à la section 5.1 est sa dépendance à l'expertise humaine en ce qui concerne principalement l'analyse de la capacité des remorques et les conditions de déchargement au site de livraison. Sans cette caractéristique, ce problème serait un problème de planification, certes riche, mais pour lequel des solutions proposées dans la littérature pourraient être adaptées. Le principe d'interaction homme-ordinateur proposé

dans ce travail exploite donc cette caractéristique, et propose de séparer l'analyse de la faisabilité des chargements des remorques et des conditions de déchargement, du problème de planification conjoint. En d'autres termes, il s'agit d'un système de planification hybride combinant l'expertise humaine, responsable de la validation de la faisabilité des chargements et de l'adéquation entre les conditions de déchargement, les routes et les remorques proposées, à un outil informatique d'aide à la planification, responsable de la confection conjointe de l'allocation des ordres de fabrication aux usines et des routes potentielles.

Une approche simple d'intégration des deux composantes consiste à faire des propositions de routes potentielles de façon automatique, qui soient ensuite analysées par le répartiteur. La figure 5.2 illustre le processus d'une telle approche.



Powered by
bizagi
Modeler

Figure 5.2: Processus d'interaction entre le système informatisé et l'utilisateur humain

Dans ce principe d'interaction de base, le répartiteur analyse un ensemble de routes proposées par le processus automatisé. Ce processus peut être implémenté soit pour une route à la fois, soit pour plusieurs routes à la fois. Dans le processus algorithmique ci-dessous, nous proposons que l'outil résolve son problème de planification complètement, avec notamment les contraintes de capacité qu'il connaît, et propose un ensemble d'allocations et de routes potentielles au répartiteur que ce dernier doit valider. Si toutes ces propositions sont validées, la planification

est terminée. Si au contraire le répartiteur identifie des routes non admissibles, ces dernières sont identifiées comme des « no-go », et sont ajoutées comme contraintes au problème de planification initial.

Ainsi, un « no-go » est simplement un chargement d'une ou de plusieurs commandes sur un type de remorque dont seule la connaissance tacite du répartiteur peut voir comme étant non-réalisable. Par exemple, un chargement de deux commandes données dont l'ordre de déchargement d'une des commandes exige une logique d'emballage exceptionnelle empêchant ainsi la faisabilité d'être sur un chargement avec une autre commande. Ce chargement serait alors non-réalisable et formerait un « no-go ». Il faut noter ici que la définition des « no-go » est indépendante de l'allocation à une usine. Ainsi, si un chargement est impossible sur une remorque particulière, alors ce chargement sera impossible sur toutes les remorques du même type, quelle que soit leur allocation aux usines.

Une fois les « no-go » ajoutés aux paramètres du problème de planification, le processus algorithmique serait initié de nouveau et proposerait de nouvelles allocations et routes. Par exemple, ce processus algorithmique pourrait fonctionner selon les étapes suivantes.

1. Allouer aléatoirement des commandes à des usines, en respectant les capacités des usines et leur offre de produits distincte;
2. Choisir une usine et faire une première route pour un camion/remorque donné, en respectant les contraintes de la demande (produits requis sur la remorque), des limites grossières de capacité de la remorque, et qui ne viole aucun « no-go » (*au départ, il n'y a pas de « no-go »*);
3. Refaire l'étape 2 jusqu'à ce qu'il ne reste plus de commande à livrer pour cette usine;
4. Refaire les étapes 2 et 3 pour une autre usine jusqu'à ce qu'il n'y ait plus d'usine à planifier;
5. Fin

Dans ce processus algorithmique, l'étape 2 est la plus complexe à réaliser. Cette dernière implique en effet la mise en œuvre d'un algorithme de confection de routes. Cependant, puisque les contraintes de chargement sont, à ce niveau, similaires à une contrainte de capacité volumique grossière (volume total des produits en PMP et dimensions maximales des produits), un algorithme

de tournées de véhicules avec fenêtres de temps et contrainte de capacité des remorques pourrait être adapté pour proposer des routes au répartiteur. Noter ici que bien que les usines soient planifiées l'une après l'autre, les allocations aux usines de toutes les commandes de toutes les usines sont utilisées afin d'identifier des opportunités de retours en charge pour le camion/remorque considéré. Un algorithme de tournées de véhicules avec fenêtres de temps, contraintes de capacité des remorques et dépôts multiple pourrait aussi être adapté pour traiter toutes les usines à la fois. De plus, à cette étape, les « no-go » représentent des contraintes supplémentaires interdisant certains chargements de commande sur un type de remorque donnée.

En ce qui concerne la capacité grossière des remorques, celle-ci pourrait être calculée à partir de données des routes passées archivées dans SAP. Cependant, comme il a été vu au chapitre 4, il y a beaucoup de variabilité concernant les volumes admissibles sur les remorques. C'est pourquoi, plutôt que d'utiliser simplement une seule contrainte (par exemple le volume maximal observé en PMP sur une remorque plus une marge de manœuvre), il serait possible d'utiliser d'autres informations comme le nombre maximum de produits observés plus une marge de manœuvre, ainsi que les dimensions (hauteur, largeur, longueur des produits) maximales plus une marge de manœuvre. Si l'une de ces contraintes était violée, l'algorithme utilisé à l'étape 2 rejeterait simplement la route. Il faut donc que les marges de manœuvre considérées ne soient pas trop petites pour ne pas rejeter à tort des routes réalisables.

Une fois les allocations et routes proposées, ces dernières sont soumises au répartiteur afin qu'elles soient validées. Éventuellement, si des « no-go » sont identifiés, ces derniers sont ajoutés, jusqu'à qu'il n'y ait plus de « no-go ». Afin de faciliter le travail du répartiteur, lorsque ce dernier examine une route en particulier, le système devrait pouvoir offrir un lien rapide et automatique aux données techniques et aux plans de conception des commandes de la route concernée.

5.3.2 Approche d'apprentissage

La mise en œuvre dans le temps du principe présenté dans la section 5.3.1 permet d'envisager des mécanismes d'apprentissage automatisés. Autrement dit, il serait avantageux pour l'entreprise de compiler les « no-go » par types de contraintes (chargement, remorque) dans le but de mieux comprendre le genre de chargements réalisables et irréalisables. Ainsi, les contraintes de faisabilité de chargement proposées par l'outil pourraient être ajustées en fonction de cet

apprentissage et permettre à l'outil de ne pas proposer des chargements dont leur probabilité d'être rejetés est forte.

De la même manière, les contraintes grossières de capacité utilisées à l'étape 2 présentées dans la section précédente pourraient être ajustées de manière automatique par l'accumulation d'informations concernant les nouvelles routes admissibles. La figure 5.3 présente ainsi un principe d'apprentissage automatique.

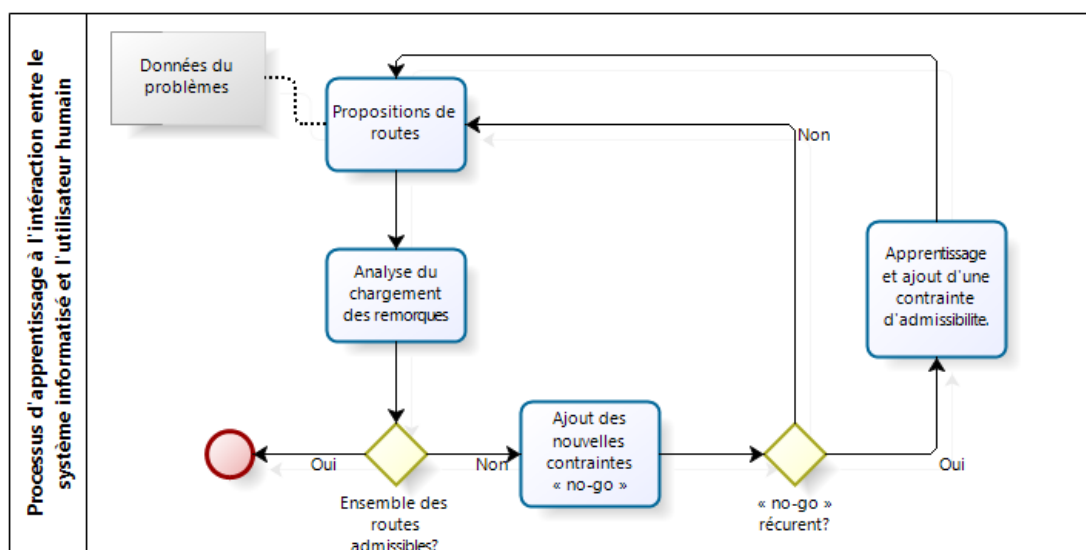


Figure 5.3 : Processus d'apprentissage à l'interaction entre le système informatisé et l'utilisateur humain

Le principe de ce processus d'apprentissage est de progressivement apprendre les caractéristiques de la non-faisabilité d'un chargement. Ainsi, il est possible de mémoriser les caractéristiques des « no-go » identifiés par le répartiteur, comme par exemple le volume total en PMP des produits, le nombre total de produits et les dimensions maximales des produits du chargement rejeté. Une fois mise en place un système de « no-go », une analyse statistique détaillée de ces caractéristiques pourrait éventuellement permettre d'affiner les contraintes de capacité grossière de chaque type de remorque.

De la même manière, nous pourrions envisager de créer des classes de formes géométriques (cube, pyramide, etc. de diverses dimensions) à laquelle chaque produit d'une commande pourrait être assimilé. Ainsi, un « no-go » serait un mixte spécifique d'un certain nombre de ces classes. Ainsi, un chargement dont le mixte serait similaire en nombre et composition serait ainsi potentiellement rejeté de façon automatique. Par exemple, assumons qu'un chargement pour une remorque donnée est composé de 25 triangles isocèles 30x10 (30 pieds de base et 10 pieds de hauteur), 12 triangles rectangles 20x10 (20 pieds de base et 10 pieds de hauteur) et 30 solives de 20 pieds ait été rejetés un jour, alors tout chargement excédant une de ces valeurs serait aussi automatique rejeté. Dans le cadre de ce type d'apprentissage, il serait éventuellement possible d'utiliser des fonctions de régression logistique (pour chaque type de remorque) afin de prédire la faisabilité d'un chargement.

Un tel apprentissage, bien que potentiellement intéressant pour progressivement diminuer la charge de travail du répartiteur, nécessite cependant un grand travail d'analyse statistique pour effectivement trouver des relations entre ces variables capables de faire de telles prédictions. Le but de cette section ne consiste qu'à illustrer grossièrement le potentiel d'une telle approche.

5.4 Barrières à la mise en œuvre

Bien que l'intégration d'un tel outil d'aide à la planification soit souhaitable et rentable, il se heurte à plusieurs barrières pour sa mise en œuvre. Cependant, ces dernières ne sont que des limites et méritent d'être analysées et modifiées pour une nouvelle planification stratégique concernant le transport et l'allocation de la production. Dans le contexte actuel, les frais de transport sont non négligeables et nuisent à la prospérité de l'entreprise s'ils ne sont pas gérés de manière efficace.

5.4.1 Barrières de nature informationnelle

Premièrement, comme il a été mentionné précédemment, le manque d'information propre à la résolution de ce problème forme une barrière quant à l'analyse de la capacité des remorques et aux temps de déchargement en chantier. Outre les barrières en information exprimées dans le chapitre 4, la proposition de cette étude exige un volet de formation et d'adaptation des employés. Aussi, la réingénierie du processus de gestion des informations demande également un besoin et

une mobilisation de différentes ressources (répartiteurs, techniciens, planificateurs, gestionnaires, commis de bureaux et camionneurs) afin de le mettre en œuvre.

L'ordonnancement des activités décrit au chapitre 3 entraîne une réorganisation de plusieurs départements impliquant des besoins de formations afin que les ressources impliquées s'adaptent et comprennent les changements. Par exemple, le département du dessin technique pour le périmètre des produits doit comprendre la nouvelle stratégie de planification et de ses impacts. De plus, le système de planification serait différent et exigerait une formation adéquate à son intégration autant au niveau de la répartition, de la production, des dessins techniques et de la gestion.

Les besoins en information constituent un frein à l'implantation d'une nouvelle planification, comme le besoin en formation, puisque des ressources humaines devront être mobilisées, ce qui implique des coûts pour GDTM. Premièrement, certaines informations devront être compilées par différentes ressources comme le tableau 5.1 l'indique. Ces données doivent également être mémorisées afin de pouvoir être analysées par la suite. La compilation des données manquantes demande du travail supplémentaire à ces ressources et la reconfiguration de SAP implique des coûts et une charge de travail non négligeables. Une autre barrière informationnelle est le besoin de contrôle de la compilation des données. Afin de s'assurer du maintien des nouveaux besoins en information, il faut mettre en place une mesure de suivi et de contrôle. Par exemple, certains champs de SAP à compléter devraient être un préalable à l'entrée d'une saisie informatique (exemple : le code postal lors de l'entrée d'une commande client ou les hauteurs et longueurs maximales des produits à produire lors de l'approbation des dessins techniques).

5.4.2 Barrières de nature organisationnelle

Une autre barrière, qui concerne la réingénierie des processus, est l'alignement de la gestion comptable et de la gestion des opérations qui serait complexifiée par la centralisation des décisions de transport. Actuellement, le GDTM gère ses usines de manière indépendante, la facturation inter-usine serait à redéfinir. En effet, la gestion comptable de la compagnie serait touchée, puisque les vendeurs ne verraient pas nécessairement leurs clients desservis par l'usine à laquelle ils sont rattachés. De même, plusieurs salaires seraient à partager aux livres tels que ceux des techniciens qui travailleraient pour les différents comptes des différentes dénominations sociales de la compagnie.

Afin que l'entreprise puisse contrôler la gestion de ses différentes usines, il lui faut en effet être en mesure de produire des rapports de roulement de ses différentes usines et des indicateurs de performance. La mesure des rendements permet de prendre des décisions de gestion adéquates et d'avoir le focus sur les bons points à travailler pour augmenter son rendement. Ainsi, la centralisation de la décision de transport et de production implique que certains employés travaillent pour le compte de toutes les usines à la fois. Actuellement, le GDTM procède à ce genre d'échanges aux livres à l'occasion. Par contre, cette méthode serait dorénavant fréquemment utilisée et une définition du processus se doit d'être évaluée à ce niveau également. Ainsi, GDTM pourrait être une seule unité d'affaires corporative ayant un seul système comptable. Il faut aussi considérer la résistance aux changements et le risque de démotivation chez les employés qui devront être bien contrôlés par une gestion et une communication adéquate.

CONCLUSION

En conclusion, pour reprendre et repenser les divers tenants et aboutissants de cette étude exploratoire, le GDTM s'impose un processus décisionnel de production et de transport qui limite l'optimalité des solutions, puisqu'ils ne sont pas considérés dans le même problème décisionnel. Pour explorer les pistes de solutions déjà existantes dans la littérature, la problématique à l'étude est abordée sous trois volets, soit le problème de gestion de la capacité des usines, le problème de construction des routes de livraison et enfin, le problème de remplissage des remorques. Malgré plusieurs études pouvant s'approcher d'une partie de la réalité de GDTM, aucune n'a offert une véritable piste de solution réalisable dans le contexte unique de l'organisation.

Nous avons alors fait la synthèse de la méthodologie employée pour arriver à obtenir les informations déterminées nécessaires à l'élaboration d'une nouvelle planification de la production (en fonction d'hypothèses de routes efficaces), capable de fournir une solution aux processus décisionnels imbriqués.

Cela fait, il fut mis en évidence que les processus actuels de décisions et d'activités seraient impactés par l'implantation d'un nouvel outil d'aide à la décision. Mais encore, le système d'information actuel, ainsi que le contexte complexe de l'entreprise, limitent énormément l'implantation d'une telle planification, le nombre de contraintes étant élevé.

Pour toutes ces raisons, l'intégration d'un outil d'aide à la planification se confronte à plusieurs barrières importantes, pour lesquelles une évaluation du travail et des moyens à fournir s'avèrent nécessaire.

Néanmoins, et bien que la complexité et l'effort nécessaires à une telle amélioration des processus décisionnels puissent apparaître très importants, la vision innovatrice de l'entreprise et la compétitivité accrue sur le marché ne nous mènent qu'à une seule conclusion, soit de considérer cette opportunité de développer un outil d'aide à la planification, afin d'allouer la production aux usines en fonction d'hypothèses de routes de livraison efficaces et ainsi se rapprocher de l'optimum, entre autres, dans leur processus de support du transport.

GDTM devra donc mettre en place un système de compilation des informations tel que présenté dans ce mémoire. Aussi, elle devra envisager une importante analyse des informations pour définir les contraintes de capacité des remorques et de déchargement des commandes.

BIBLIOGRAPHIE

- Berstimas, D. & Demir, R. (2002). *An approximate dynamic programming approach to multidimensional knapsack problems*. Massachusetts Institute of Technology, 16 pages.
- Cherbaka, N. S. & Meller, R. D. (2008). *Modeling multiple plant sourcing decisions*. International Journal of Production Research, 27 pages.
- Chu, P. C., & Beasley, J. E. (1998). *A Genetic Algorithm for the Multidimensional Knapsack Problem*. Journal of Heuristics, 24 pages.
- Cordeau, J.F., Laporte & G. Mercier, A. (2001). *A unified tabu search heuristic for vehicle routing problems with time windows*. Journal of the Operational Research Society, pages 928-936.
- De Véricourt, F., Karaesmen, F. & Dallery, Y. (2002). *Optimal stock allocation for a capacitated supply system*. Duke University, Koç University & École Centrale Paris, 16 pages.
- Desaulniers, Guy. (2010). *Branch and Price and Cut for the split delivery vehicle routing problem with time windows*. Operations Research. Academic Journal, p.179.
- Dondo, R., & Cerda, J. (2007). *A cluster-based optimization approach for the multi-depot heterogeneous fleet vehicle routing problem with time windows*. European Journal of Operational Research, pages 1478-1507.
- Gendreau, M., Hertz, A. & Laporte, G. (1994). *A tabu search heuristic for a vehicle routing problem*. Management Science, pages 1276-1290.
- Gendreau, M., Rousseau, L.M & Feillet, D. (2008). *New refinements for the solution of vehicle routing problems with branch and price*. Laboratoire informatique d'Avignon et CIRRELT (Université de Montréal), 27 pages.
- Glover, F. & Kochenberger, G. A. (1996). *Critical Event Tabu Search for Multidimensional Knapsack Problems*. University of Colorado, 20 pages.
- Jinhui, G. & Xiaokui, S. (2010). *An improved TS algorithm design for a vehicle routing application and system modeling* (ICCA SM 2010). China.
- Pisinger, D. & Ropke, S. (2007). *A general heuristic for a vehicle routing problems*. Computers & Operations Research, pages 2403-2435.

Polacek, M., Harti, R. F., Doerner, K. & Reimann, M. (2004). *A variable neighborhood search for the multi depot routing problem with time windows*. Journal of heuristics, pages 613-627.

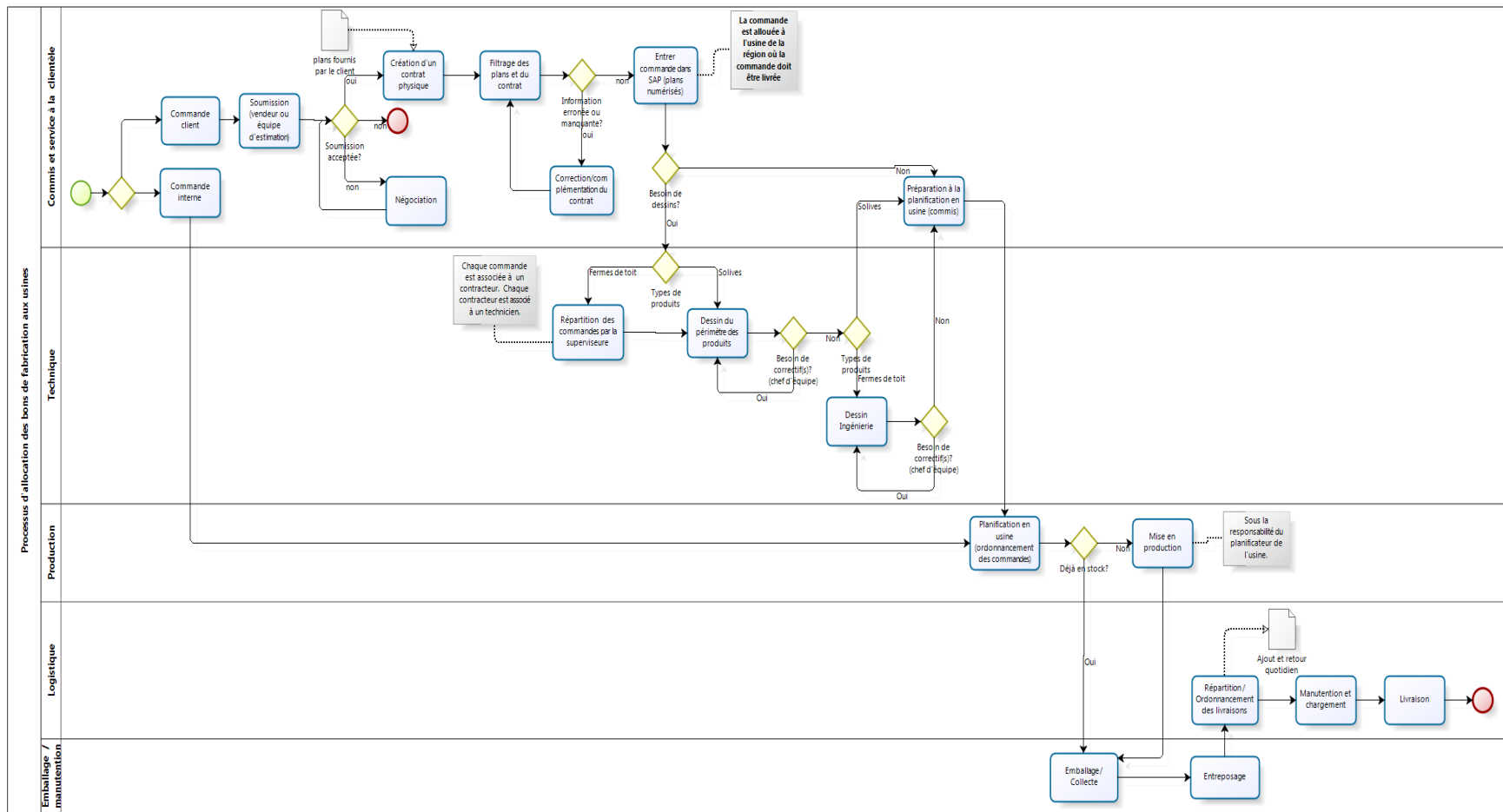
Transport Québec (Avril 2014). *Hauteurs libres sous les ponts du Québec; répertoire*. http://www.mtq.gouv.qc.ca/portal/page/portal/entreprises/camionnage/ponts/hauteurs_libres/repertoire_hauteurs_libres.

Yang, F-C., Chen, K., Wang, M-T., Chang, P-Y. & Sun, K-C. (2010). *Mathematical modeling of multi-plant order allocation problem and solving by genetic algorithm with matrix representation*. Springer-Verlag London Limited, 9 pages.

ANNEXE A – TABLEAU DES OFFRES DE PRODUITS PAR USINE

Famille de produit	Prokit	Chevrans Lavallois	Moisan	Toiture Mauricienne
Longueur maximum	80 pieds	100 pieds	45 pieds	80 pieds
TRIFORCE 9 1/2"	x	x		x
TRIFORCE 11-7/8"	x	x	x	x
TRIFORCE 14"	x	x	x	x
TRIFORCE 16"		x		x
Wood-I 9 1/2"		x		
Wood-I 11-7/8"		x		
Wood-I 14"		x		
Nordic-Lam	x	x	x	x
LVL		x		
Muret		x		x
Floor Truss	x			
Space Joist	x			
OJ-TC				x
OJ-P				x
TRIFORCE sur mesure				x

ANNEXE B – PROCESSUS DE PRISE D'UNE COMMANDE JUSQU'À SA LIVRAISON CHEZ LE CLIENT



ANNEXE C – PROCESSUS DE RÉPARTITION ET DE LIVRAISON

